



DIVISION DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
PROGRAMA: ESPECIALIZACION, MAESTRIA Y DOCTORADO EN DISEÑO

MAESTRIA EN DISEÑO

**«PROPUESTAS DE ADECUACION BIOCLIMATICA PARA LAS AULAS DEL
C.A.P.F.C.E. EN CLIMAS CALIDO SECO Y CALIDO HUMEDO»**

AUTOR:

JOSE MANUEL FERNANDEZ CHAVIRA

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAESTRO EN DISEÑO,
LINEA DE INVESTIGACION DISEÑO BIOCLIMATICO**

DIRECTOR DE TESIS

DR. ANIBAL FIGUEROA CASTREJON

MIEMBROS DEL JURADO

MTRO. VICTOR FUENTES FREIXANET

DR. JOSE ROBERTO GARCIA CHAVEZ

DR. JOSE DIEGO MORALES RAMÍREZ

DR. DAVID MORILLON GALVEZ

CIUDAD DE MEXICO, D.F.

ABRIL DE 2005

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	3

CAPITULO I - MARCO TEORICO

1.1 Justificación	6
1.2 Definición del problema	8
1.3 Objetivos	10
1.4 Hipótesis de investigación	10
1.5 Preguntas de investigación	9
1.6 Alcances	11
1.7 Metas	11
1.8 Metodología de investigación	12
1.9 Metodología experimental	14
1.10 Antecedentes	14

CAPITULO II – PANORAMA DE LA EDUCACION BASICA EN MEXICO

2.1 Educación nacional en el nivel básico	17
2.2 Necesidades actuales en las aulas del C.A.P.F.C.E.	18
2.2.1 Demanda	18
2.2.2 Ubicación	20
2.2.3 Problemas operativos	22
2.3 Diseño de aulas del CAPFCE	23
2.3.1 Especificaciones generales de aulas	23
2.3.2 Planos arquitectónicos de aulas	25

CAPITULO III – METODOLOGIA PARA DIAGNOSTICO

3.1 Carta psicrométrica	28
3.2 Gráfica bioclimática	29
3.3 Zona de confort humano	30
3.3.1 Límites de la zona de confort	31
3.4 Estimación de ganancias térmicas	33
3.4.1 Ganancia por radiación solar	33
3.4.2 Ganancia por conducción	33
3.4.3 Ganancia por infiltración	34
3.4.4 Ganancia interna producida por usuarios	34
3.4.5 Ganancia interna por aparatos eléctricos	36
3.5 Geometría solar	37
3.5.1 Método estereográfico	37
3.5.2 Método gnomónico	38
3.5.3 Angulos de protección solar de las aulas	39
3.5.4 Estudio de asoleamiento de aulas	41
3.6 Balance térmico (modelo matemático)	45
3.7 Laboratorio de cielo artificial (modelo físico)	46
3.7.1 Tipos de cielo artificial	47
3.7.2 Requerimientos de iluminación en aulas	48
3.8 Túnel de viento (modelo físico)	50
3.9 Caja de viento (modelo físico)	52

CAPITULO IV - ELECCION DE CASOS DE ESTUDIO

4.1 Zonas donde el diseño bioclimático puede ser más útil	54
4.1.1 Climas de México	54
4.1.2 Cantidad de poblaciones involucradas en cada clima	56
4.1.3 Niveles de confort en los diversos climas	57
4.1.4 Consumo eléctrico	59
4.1.5 Relación entre consumo eléctrico y producto interno bruto	60
4.2 Determinación de los climas de estudio	62

4.3 Selección de las ciudades de estudio	63
4.3.1 Ciudad del clima cálido húmedo	63
4.3.2 Ciudad del clima cálido seco	65

CAPITULO V - DIAGNOSTICO DEL CASO CALIDO HUMEDO

5.1 Introducción a la ciudad de Acapulco.....	68
5.2 Datos climáticos	71
5.2.1 Datos normalizados	71
5.2.2 Temperatura horaria de bulbo seco	73
5.2.3 Humedad relativa horaria	75
5.2.4 Precipitación y nubosidad	76
5.2.5 Radiación solar	78
5.2.6 Vientos	79
5.3 Evaluaciones	81
5.3.1 Carta psicrométrica	81
5.3.2 Carta bioclimática	83
5.3.3 Zona de confort.....	85
5.3.4 Gráfica estereográfica	86
5.3.5 Penetración solar en aulas	87
5.3.6 Pruebas de cielo artificial	88
5.3.7 Pruebas de viento	89
5.3.8 Balance térmico	90
5.4 Conclusiones de las aulas actuales	92
5.4.1 Ganancias térmicas	92
5.4.2 Iluminación	93
5.4.3 Ventilación	94
5.4.4 Confort higrotérmico actual	95

CAPITULO VI - DIAGNOSTICO DEL CASO CALIDO SECO

6.1 Introducción a la ciudad de La Paz	97
6.2 Datos climáticos	100
6.2.1 Datos normalizados	100
6.2.2 Temperatura horaria de bulbo seco	102
6.2.3 Humedad relativa horaria	105
6.2.4 Precipitación y nubosidad	107
6.2.5 Radiación solar	108
6.2.6 Vientos	109
6.3 Evaluaciones	111
6.3.1 Carta psicrométrica	111
6.3.2 Carta bioclimática	112
6.3.3 Zona de confort	114
6.3.4 Gráfica estereográfica	115
6.3.5 Penetración solar en aulas	116
6.3.6 Pruebas de cielo artificial	117
6.3.7 Pruebas de viento	117
6.3.8 Balance térmico	118
6.4 Conclusiones de las aulas actuales	121
6.4.1 Ganancias térmicas	121
6.4.2 Iluminación	122
6.4.3 Ventilación	122
6.4.4 Confort higrotérmico actual	123

CAPITULO VII - COMPARACION DE RESULTADOS

7.1 Conclusiones entre los climas de Acapulco y La Paz	125
7.1.1 Temperatura	125
7.1.2 Humedad relativa	126
7.1.3 Insolación	127
7.1.4 Viento	128
7.2 Evaluaciones	129
7.2.1 Psicrometría	129

7.2.2 Carta bioclimática	130
7.2.3 Balance térmico	131
7.2.4 Cielo artificial	131
7.2.5 Viento	131

CAPITULO VIII - PROPUESTA DE ADECUACION BIOCLIMATICA PARA ACAPULCO

8.1 Estrategias de diseño	134
8.1.1Estrategias de enfriamiento	134
8.1.2 Estrategias de ventilación	135
8.1.3 Estrategias de iluminación	136
8.2 Propuesta de diseño	138
8.2.1 Propuesta de enfriamiento	138
8.2.2 Propuesta de ventilación	140
8.2.3 Propuesta de iluminación	143
8.3 Evaluación de diseño	145
8.3.1 Evaluación de enfriamiento	145
8.3.2 Evaluación de ventilación	150
8.3.3 Evaluación de iluminación	159
8.4 Conclusiones	160
8.4.1 Diseño final de aula	160
8.4.2 Conclusión de enfriamiento	161
8.4.3 Conclusión de ventilación	162
8.4.4 Conclusión de iluminación	163

CAPITULO IX - PROPUESTAS DE ADECUACION BIOCLIMATICA PARA LA PAZ

9.1 Estrategias de diseño	166
9.1.1Estrategias de enfriamiento	166
9.1.2 Estrategias de ventilación	167
9.1.3 Estrategias de iluminación	169
9.2 Propuesta de diseño	170
9.2.1 Propuesta de enfriamiento	170

9.2.2 Propuesta de ventilación	171
9.2.3 Propuesta de iluminación	177
9.3 Evaluación de diseño.....	178
9.3.1 Evaluación de enfriamiento	178
9.3.2 Evaluación de ventilación	184
9.3.3 Evaluación de iluminación	192
9.4 Conclusiones	193
9.4.1 Diseño final de aula	193
9.4.2 Conclusión de enfriamiento	194
9.4.3 Conclusión de ventilación	195
9.4.4 Conclusión de iluminación	197
 CONCLUSIONES GENERALES	 198
ANEXOS	200
GLOSARIO	235
BIBLIOGRAFIA	237
CURRICULUM VITAE	241

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por todo su apoyo y motivación para concluir mis estudios de postgrado

A mi director de tesis Dr. Aníbal Figueroa Castrejón

Al Mtro. Víctor Fuentes Freixanet y al Dr. José Roberto García Chávez por sus asesorías

A la Arq. Beatriz Haro López por animarme a iniciar esta maestría

RESUMEN

El objeto de esta investigación es la propuesta de un nuevo diseño de aulas primarias que pueda mejorar de manera considerable los niveles de confort higrotérmico y lumínico observados en las escuelas del CAPFCE. El C.A.P.F.C.E. (Comité Administrador del Programa Federal de Construcción de Escuelas) es la dependencia del gobierno mexicano responsable del diseño de las escuelas federales. Este organismo tiene la desventaja de usar el mismo modelo de aulas en todos los climas del territorio nacional.

Las adecuaciones bioclimáticas sugeridas en este trabajo son dirigidas a los climas con más problemas del país y conservan la mayor parte posible de las especificaciones actuales para prevenir un aumento significativo en el costo de la construcción.

ABSTRACT

The aim of this research is the proposal of a new design for primary classrooms which could improve in a sizeable way the hygrothermic and luminic comfort levels at CAPFCE schools.

The C.A.P.F.C.E. (Administrative Board of the Federal School Construction Programme) is a section of the Mexican government responsible for federal school design. This organization has the disadvantage of using the same classroom pattern to all climates in Mexico.

The bioclimatic adaptations suggested in this work apply to the most problematic climates of the country and preserve most possible current specifications in order to prevent a notable increase in the cost of the buildings.

RÉSUMÉ

L'objectif de cette recherche vise à proposer un nouveau dessin des salles de classes qui puissent améliorer de façon considérable le confort hygrothermique et lumineux aux écoles du CAPFCE. Le C.A.P.F.C.E. (Comité d'administration du programme fédéral de construction d'écoles) est le service du gouvernement mexicain chargé de faire le dessin d'écoles fédérales. Cet organisme a l'inconvénient à utiliser la même conception de salles de classes pour tous les climats du Mexique.

Les adaptations bioclimatiques suggérés dans cette thèse sont consacrés aux climats les plus problématiques du pays. Elles essayent de garder autant que possible les spécifications de la conception actuelle pour prévenir une augmentation importante sur la cotisation des bâtiments.

INTRODUCCION

El C.A.P.F.C.E. (Comité Administrador del Programa Federal de Construcción de Escuelas) es un organismo del gobierno federal mexicano fundado hace 59 años con la intención de investigar nuevas tecnologías, certificar la infraestructura física educativa, promover el financiamiento y coordinar los esfuerzos dirigidos a satisfacer las necesidades de espacios educativos de México.

El C.A.P.F.C.E. obtuvo el 11 de diciembre del 2003, la certificación del Sistema de Gestión de Calidad de todos sus procesos basado en la norma internacional ISO 9001:2000.

Su misión es lograr que la infraestructura física educativa del país cumpla con los estándares de calidad, equidad, seguridad y pertinencia mediante el establecimiento y aplicación de la normatividad y procesos de certificación, asesoría y asistencia técnica, promoción del financiamiento y la participación social.

Este organismo es el responsable del diseño de escuelas públicas a nivel primaria en todo el territorio nacional.

Los principales desafíos que se le presentan últimamente según Ricardo Torres (Director general del CAPFCE al año 2003) son diseñar, construir y rehabilitar espacios educativos.



Figura 1: Logotipo y aula tipo del C.A.P.F.C.E.

La metodología empleada empieza con el análisis climático de México para conocer cuales son las áreas principales que presentan climas con problemas de confort, ya que solo se considerarán los dos climas con características más adversas. Posteriormente se eligen las ciudades más convenientes de estudio para cada clima de acuerdo a su semejanza con los valores promedio de las ciudades mexicanas ubicadas dentro del mismo grupo climático.

Las ciudades seleccionadas serán sometidas a un análisis climático comprendiendo normales de clima, temperatura, humedad relativa y vientos. Estos datos serán interpretados mediante tablas psicrométricas, gráficas bioclimáticas y estereográficas para cada ciudad.

Con el apoyo del análisis climático y el estudio de asoleamiento se estima mediante balance térmico la temperatura interior de las aulas para cada uno de los meses con actividad escolar en su situación actual, tanto de diseño de aulas como de ocupación de usuarios. La información necesaria para este cálculo son las especificaciones de diseño actuales de las aulas del C.A.P.F.C.E. y las características termofísicas de sus materiales.

El empleo del balance térmico estacionario tiene la finalidad de establecer la diferencia entre la situación de confort actual y la situación deseada además de desglosar los principales puntos de vulnerabilidad de la envolvente constructiva que tienen prioridad para ser protegidos.

Una vez que se conocen los problemas actuales se estudia el desempeño de varias propuestas con posibilidades de mejorar el confort en aulas como el uso de aislantes térmicos, la rotación de las aulas y el uso de vanos de ventilación adicional.

Posteriormente se evalúa el impacto de las modificaciones propuestas al diseño actual dentro de los rubros de iluminación natural, ventilación, insolación, y niveles de confort obtenidos. Las mediciones necesarias para verificar las mejoras logradas serán modelos matemáticos (balance térmico) y modelos físicos (cielo artificial y túnel de viento)

El último paso es un análisis retrospectivo acerca de las diferencias existentes entre los casos de estudio, con especial énfasis en las diferencias de clima y consecuentemente los distintos parámetros que definen la zona de confort térmico local.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1 JUSTIFICACION

El presente trabajo surge por la inquietud de crear un diseño de aulas que provean a los alumnos de aceptables niveles de confort reduciendo el uso de sistemas artificiales de climatización en las salas de clase y que no eleven de manera considerable los costos de construcción.

El confort es requerido debido a que tiene relación con los niveles de aprovechamiento escolar (Pepler, 1971). La reducción o la eliminación de la inversión en los sistemas mecánicos de climatización tiene por fin el abatimiento de los gastos de energía eléctrica. Este consumo se traduce en mayores costos operación y mantenimiento de las escuelas y en una mayor emisión de contaminantes a la atmósfera producto de la generación de electricidad.

La elección de las aulas como caso de estudio responde a la gran cantidad de tiempo que los niños pasan al día dentro de estos espacios y a su considerable participación en el total de las construcciones. Las escuelas representan en países como los E.E.U.U. el 14% de los edificios no residenciales (Stein, 1977). Dentro de este sector educativo se ha escogido al C.A.P.F.C.E. por ser el organismo responsable del diseño de las escuelas públicas, que son la mayoría a nivel nacional ya que según las estadísticas de la SEP para el ciclo escolar 2000-2001 solamente el 7.74% de la matrícula primaria del país correspondía a escuelas particulares. Además esta institución ya ha demostrado su interés en mejorar el diseño de aulas mediante la elaboración, en 1993, de un manual de criterios de acondicionamiento bioclimático para todo el territorio nacional que daba recomendaciones generales para cada clima pero no indicaba con exactitud las modificaciones que requería el diseño actual. Desafortunadamente no han sido utilizados a la fecha para el diseño de las aulas de ninguna parte del país.

Esta tesis emulará a dicho manual con especificaciones exactas sobre las adecuaciones que debe tener el diseño para mejorar sus condiciones de confort.

El ahorro en el consumo de energía eléctrica en las aulas públicas en nuestro país ha sido desdeñado puesto que las escuelas públicas están exentas del pago de electricidad, lo que implica que el costo eléctrico es absorbido por la compañía distribuidora y el estado. Es necesario inculcar el hábito del ahorro energético en los alumnos de primaria ya que ellos decidirán entre el ahorro o el despilfarro energético de las próximas décadas, si los alumnos se familiarizan con un bajo consumo eléctrico en sus aulas es más probable que mantengan ese hábito en su vida adulta que los alumnos de aulas actuales.

Es previsible que si mejoran las condiciones de confort en las aulas también mejorarán los niveles de rendimiento escolar ya que investigaciones hechas en países en otros países han comprobado el detrimento en el aprovechamiento escolar a medida que la temperatura se aleja de los niveles de confort. Estos estudios se realizaron en situaciones distintas a las de México, diferentes climas y requerimientos de confort para los alumnos, etc. Sin embargo se puede apreciar claramente que el exceso de calor es perjudicial para el aprovechamiento escolar. Los estudios tomados en cuenta son los siguientes:

A) Schoer & Shaffran (1973) y la Lennox Research School, E.E.U.U., hicieron estudios para desarrollar sistemas de control ambiental, en dos aulas idénticas, las características eran las siguientes:

- 1 aula – aire acondicionado con una temperatura constante de 22.5°C
- 1 aula – sin aire acondicionado y a una temperatura de 26°C

El estudio tomó aproximadamente 9 semanas, se emplearon 19 diferentes pruebas sobre 3 diferentes estudios, 6 fueron mejores en aulas con aire acondicionado (todas fueron las tareas más complicadas), ninguna fue mejor en aulas sin aire acondicionado.

B) En 1971 Pepler estudió 3 pares de escuelas cerca de Portland, Oregon, E.E.U.U.

- 3 escuelas con aire acondicionado que mantenían 24 °C
- 3 escuelas sin aire acondicionado con temperatura variable que llegaba a alcanzar los 29 °C

Los estudiantes fueron examinados dos veces por semana, el desempeño de los exámenes estuvo significativamente vinculado a la temperatura, en general los resultados mostraron que las puntuaciones fueron mejores con temperaturas de 22 a 23 °C que cuando fueron superiores a los 26 °C.

Estos dos estudios son bastante claros respecto a la disminución del aprovechamiento escolar a medida que la temperatura aumenta por encima de los niveles máximos de confort higrotérmico y pone en evidencia el potencial de aumento de aprovechamiento escolar en aulas con temperaturas confortables.

La importancia de los climas elegidos se deriva de que gastan más energía actualmente y que presentarán los mayores aumentos, pues en periodo entre 1992-2001 las ventas de electricidad registraron un crecimiento mayor en las zonas donde hay más presencia de climas cálido secos, (6.7% para la zona de Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas), se estima que la demanda bruta media en el área eléctrica de Baja California Sur tendrá un crecimiento de 5.7%

en el periodo de 2002-2011, mientras que la media nacional para el periodo de 1992-2001 fue de 5.2% (SENER 2002).

El estudio de aulas en clima cálido húmedo es importante por su alto grado de incomodidad higrotérmica al presentarse principalmente en los estados con recursos económicos limitados donde es poco frecuente el uso de aire acondicionado, esta zona incluye a los estados del Sureste, Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco y Veracruz, observó un crecimiento de consumo eléctrico entre el 1992-2001 de solo 3.7%.

1.2 DEFINICION DEL PROBLEMA

Una de las principales necesidades para el óptimo ejercicio de la docencia es la disposición de instalaciones educativas que ofrezcan altos niveles de confort, es por ello prudente considerar la forma de mantener en niveles aceptables las condiciones de confort desde el momento del diseño del aula y no esperar a que se presente el problema cuando la única solución sea la instalación de sistemas de ventilación artificial.

Los niveles de incomodidad son considerables para varias regiones del país, particularmente para los climas cálidos, la problemática detectada en esta institución es la siguiente:

El C.A.P.F.C.E. dispone de un diseño único de aulas que se aplica a todo el territorio nacional que no siempre es el más adecuado para cubrir los requerimientos de confort de las actividades educativas en todas las regiones del país debido a la gran diversidad climática del país. El diseño actual de las aulas posee una orientación fija y disposición de volados adecuada para climas cálidos en cuanto a iluminación natural y protección solar se refiere, sin embargo la orientación óptima de las ventanas para captar los vientos dominantes varía considerablemente para cada localidad. Se requiere de un nuevo criterio de orientación ya que la actual situación es inadecuada para los climas cálidos donde la ventilación es uno de los más importantes recursos para mejorar los niveles de confort por altas temperaturas. De hecho en climas cálidos la ventilación es la principal estrategia de diseño para disminuir la temperatura.

El problema de una deficiente ventilación es importante en las aulas ya que se encuentran dentro de los espacios habitables con alta densidad de usuarios por metro cuadrado y por ende entre los espacios con mayor ganancia térmica interna, las aulas del CAPFCE están proyectadas para dar alojamiento hasta a 40 alumnos, sin embargo su ocupación ha disminuido en los últimos años y

se tiene previsto que esta tendencia continúe. En palabras de Manuel Jiménez, director de CAPFCE en 1998, «ante la eventual reducción en la población infantil en México y la demanda en educación básica en el futuro las escuelas primarias deben construirse pensando en que posteriormente puedan servir para otros fines, se requiere un rediseño de escuelas para que no sea necesario desaparecer escuelas y luego construir otras para niveles superiores, ya que la disminución en la población escolar va a seguir, y no la podemos detener», estas previsiones nos indican que el problema de saturación de aulas es cada vez menos frecuente.

El problema de incomodidad es tan grave que en algunas de las localidades más cálidas del país las asociaciones de padres de familia han optado improvisar la aplicación de sistemas de acondicionamiento artificial de aire y que elevan considerablemente los costos de energía eléctrica de las aulas. Estos sistemas de aire acondicionado de ventana son comprados en los E.E.U.U. y son de bajo aprovechamiento energético en comparación con los sistemas de refrigeración centrales concebidos desde la fase de diseño del edificio.

El problema central es el por lo tanto el aumento de temperatura en aulas que se traduce ya sea en falta de confort de los alumnos o bien en altos consumos energéticos producto de la refrigeración artificial en edificios sin aislantes térmicos.

Se puede considerar que el sistema de techado de aulas mediante losas de concreto armado permite pasar una gran cantidad de calor al interior. Para este efecto en épocas recientes se ha considerado la aplicación del sistema de viga y bovedilla para techar en los climas cálido húmedos del sureste del país con la finalidad de disminuir los aportes térmicos por transmisión a través de losas. Para el resto del país se utiliza una losa de concreto armado de 10 centímetros de espesor que carece de aislante térmico, consecuentemente las especificaciones de diseño de las construcciones actuales son poco susceptibles de mantener niveles de confort aceptables al interior de las aulas.

1.3 OBJETIVOS

Objetivo general:

Determinar las especificaciones de diseño bioclimático pertinentes para adaptar la actual concepción de las aulas tipo primarias del C.A.P.F.C.E. de dos climas diferentes de México.

Objetivos específicos:

Hacer un diagnóstico de la situación actual de confort al interior de las aulas C.A.P.F.C.E.

Proponer, diagnosticar y evaluar los cambios al diseño actual de aulas para mejorar su funcionamiento en los climas cálido seco y cálido húmedo.

Los resultados de la investigación se presentarán mediante gráficas que ilustrarán los resultados de todos los meses con actividad escolar del año, los temas que se analizarán son los siguientes:

1.4 HIPOTESIS DE INVESTIGACION

- Los niveles de confort de las aulas actuales son deficientes y menguan el aprovechamiento escolar de los alumnos.
- Es posible que el diseño bioclimático pueda mejorar los niveles de confort higrotérmico en las aulas del C.A.P.F.C.E. hasta llegar a niveles aceptables para el funcionamiento de escuelas primarias haciendo un exiguo uso de sistemas de refrigeración artificial.
- Los niveles de iluminación pueden mejorar mediante el empleo de estrategias de iluminación natural y el aumento de una pequeña superficie de iluminación cenital.

1.5 PREGUNTAS DE INVESTIGACION

- ¿Cuál es la situación actual de las aulas en cuanto a niveles de confort higrotérmico?
- ¿Cuáles son los principales factores que contribuyen a aumentar la temperatura?
- ¿Que material constructivo para losa tiene propiedades aislantes térmicas suficientes para reducir la ganancia solar?
- ¿Cuál es la orientación de aulas más conveniente para reducir la ganancia térmica?

- ¿Cuáles son los redimensionamientos pertinentes de ventanas para garantizar el abasto de los cambios de aire necesarios?
- ¿Qué impacto tienen las modificaciones sobre el nivel de iluminación?
- ¿Cuál es el nivel de eficiencia de las medidas tomadas para lograr el confort?
- ¿Cuáles son las diferencias de diseño bioclimático para los dos climas estudiados?

1.6 ALCANCES

El estudio comprenderá únicamente los dos climas más problemáticos de México; el cálido húmedo y el cálido seco, estudiando una sola ciudad que pueda considerarse representativa al tener datos climáticos bastante similares a la media de su grupo.

Comprende la realización del cálculo de balance térmico para evaluar la situación actual y la que se propondrá para un solo tipo de aula.

Mediante pruebas en laboratorio de cielo artificial se investigarán los niveles de iluminación sobre maquetas en la situación actual y en las propuestas de mejoras de diseño.

La verificación de ventilación se practicará en túnel de viento y dentro de cajas de acrílico que serán sometidas al impacto de humo para comparar la situación actual y la del diseño propuesto.

1.7 METAS

- Determinar la orientación óptima para cada clima
- Proponer las medidas adicionales para mejorar la ventilación
- Especificar los colores que se deben utilizar en los diferentes elementos de las aulas
- Definir las especificaciones de los materiales aislantes para cada caso de estudio

1.8 METODOLOGIA DE INVESTIGACION

Se basa en la metodología del diseño bioclimático de S. Szokolay (1980) que consta de cuatro etapas, Estudios preliminares, Anteproyecto, Proyecto y Evaluación final, divididas a su vez cada una en: Objetivos, Información, Herramientas y Producto. Esta metodología será sometida a una adaptación orientada a las necesidades del actual proyecto tomando en cuenta que ya se cuenta con un diseño preestablecido que debe ser modificado en la menor medida posible.

Etapas	Objetivos	Información	Herramientas	Producto
A) Estudios preliminares	Análisis nacional de clima	Datos climáticos, Situación de aulas	Análisis bioclimático,	Elección de casos de estudio
B) Diagnóstico	Determinación de los niveles de confort registrados en las aulas actuales	Datos climáticos, características termofísicas de los materiales de aulas	Modelos matemáticos y físicos, evaluación con gráficas estereográficas, bioclimáticas y tabla psicrométrica	Delimitación de los problemas de confort actuales
C) Estrategias de diseño y alternativas de proyecto	Detallar las estrategias de diseño, medición de resultados	Conclusiones del capítulo anterior	Modelos matemáticos y físicos, evaluación con gráficas estereográficas, bioclimáticas y tabla psicrométrica	Planos arquitectónicos, resultados de las pruebas realizadas
D) Comparación de las dos propuestas	Comparaciones generales	Conclusiones del capítulo anterior	Gráficas comparativas	Conclusiones específicas

Las cuatro etapas principales de la metodología original serán adaptadas y recibirán los siguientes títulos; Información, Diagnóstico, Estrategias de diseño y alternativas al proyecto, Comparación de las dos propuestas.

Información

Tiene la finalidad de esbozar de manera sucinta el panorama educativo nacional a nivel primaria, la situación del C.A.P.F.C.E. además de mencionar las herramientas de investigación que se utilizarán y dar la justificación de las mismas, finalmente se selecciona a las ciudades más típicas de cada clima mediante el promedio de los valores de poblaciones importantes del país para sus respectivos climas.

Diagnóstico

Se hace el análisis climático sobre las ciudades previamente seleccionadas, después se calculan los niveles de temperatura actuales mediante modelos matemáticos y mediante modelos físicos se evaluará la situación actual de iluminación y ventilación natural.

Estrategias de diseño y alternativas al proyecto

En esta sección requiere indicar las técnicas bioclimáticas más apropiadas para cada uno de los casos de estudio, se define una estrategia, se especifican las modificaciones pertinentes y se revisan los beneficios conseguidos.

Las propuestas de diseño tienen por objeto los rubros de iluminación, enfriamiento o calentamiento y ventilación, primero se analizan las posibilidades y después se hace una propuesta para ser sometida a evaluación de resultados dentro de este mismo capítulo.

Comparación de las dos propuestas:

Tiene la finalidad de hacer una retrospectiva del estudio y analizar las similitudes y diferencias entre la situación de ambos climas.

Se abordarán los temas de diferencias de climas, la forma en que el diseño único de las aulas del CAPFCE responde en cada uno de los climas, y por último se analizará las diferencias de diseño necesarias para lograr diseños congruentes a las condiciones de sus respectivos climas.

1.9 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A partir de la metodología establecida se desprende este diagrama que sugiere el orden de los pasos a seguir mediante una secuencia de preguntas:

- Reconocer las fuentes de ganancia solar principales actuales
- Estudiar el aislamiento térmico en losas con el material actual y con diversas alternativas
- Determinar cual recubrimiento es más adecuado según la relación costo-beneficio
- Estudiar las ganancias térmicas producidas por diferentes orientaciones de fachadas
- Determinar cual de las orientaciones genera menores aportes térmicos totales a lo largo del año.
- Calcular las tasas de ventilación del área original para las diversas orientaciones
- Proponer el área de ventana necesaria para lograr la ventilación óptima en las diversas orientaciones.
- Determinar cual de las orientaciones es la óptima, tomando en cuenta el área de ventilación necesaria y su ganancia solar a través del cristal
- Determinación de los niveles de iluminación actuales y después de las modificaciones de ambos climas
- Evaluación final de los beneficios esperados con el nuevo diseño
- Comparación final entre las medidas necesarias para corregir el diseño de acuerdo a los diversos climas

1.10 ANTECEDENTES

La situación de abasto energético en México se ha venido complicado paulatinamente, se requieren cada vez más esfuerzos para satisfacer la demanda. El incremento en las necesidades de energía eléctrica ha rebasado al crecimiento económico nacional, en las últimas 2 décadas el consumo de energía eléctrica ha aumentado 5.1% mientras que la economía nacional solo lo hizo en un 2.2%, además se tiene considerado que esta tendencia continuará y que en los próximos 10 años las ventas de energía se incrementarán 5.4% en promedio anual (SENER 2002).

Los espacios habitables se cuentan entre los sectores que tienen mayor participación en el consumo energético global, se estima que en ellos tiene lugar un aproximadamente un 30% del consumo total energético de los países industrializados (Schneider 1996), mientras que en nuestro país el consumo se reparte de la siguiente manera: Industrial: 61.9%, Residencial 21.9%, Comercio y Servicios 11.5%, otros 4.7% (International Energy Agency – Energy Balances of OECD & Energy Balances of non OECD countries, 1998-1999).

El ahorro energético es una de las alternativas más convenientes para disminuir las necesidades de producción, puesto que hay grandes pérdidas al transportar la energía al lugar de consumo final. La diferencia existente entre el costo de generación de energía y su precio nos indica que el costo de generación representa solamente un 30% del total, el restante 70% lo forma la infraestructura de la red de distribución (Scheer, 1999).

El uso de energía de origen renovable dista mucho de ser la solución al aumento del consumo energético puesto que tiende a ser más onerosa que la energía convencional. El costo promedio de la energía eléctrica para consumo doméstico en la comunidad europea es entre € 0.10 y € 0.15 por kilowatt/hora, sin embargo el costo de la misma cantidad de kilowatts proveniente de recursos fósiles y de centrales de energía nuclear es apenas entre € 0,02 y € 0,04. (Scheer, 1999) Por otro lado la tecnología de energía renovable no esta exenta de contaminar en su etapa de construcción, si se compara a diversas tecnologías de producción de energía respecto a su factor de rendimiento en relación a cuantas veces durante su vida útil puede producir la misma energía que se gastó en su fabricación obtendremos que el factor de las celdas solares es entre 5 y 20, mientras que las centrales de energía no renovable llegan al factor de 60 (Drösser, 2003).

El interés del gobierno por incentivar el ahorro de energía eléctrica ha aumentado últimamente debido a que el ahorro es el remedio más eficiente para disminuir el déficit de energía eléctrica ya que es más económico ahorrar un Watt que producirlo. La Comisión Nacional para el Ahorro Energético (CONAE) estima que el potencial de ahorro factible con las estrategias aplicadas actualmente, es equivalente a un consumo evitado de 31 TWh, que equivale al 20% de las ventas totales estimadas en el servicio público.

CAPITULO II

PANORAMA DE LA EDUCACION BASICA EN MEXICO

2.1 EDUCACION NACIONAL EN EL NIVEL BASICO

El principal reto de la educación básica nacional es la desigualdad de oportunidades educativas que enfrentan los grupos de la población en situación de pobreza extrema y marginación, quienes con frecuencia pertenecen a grupos indígenas (SEP 2001).

Es preciso orientar los esfuerzos y los recursos que se destinan a la educación para que su aplicación compense de manera efectiva los rezagos y carencias de la población en desventaja.

El reto de la calidad y el logro que los aprendizajes es otro de los grandes desafíos que enfrenta el sector de educación básica en la actualidad. La complejidad del problema obliga a buscar soluciones mediante la aplicación de estrategias y acciones diversas que sean articuladas y complementarias y que tengan su expresión en el buen funcionamiento de la escuela y el logro de aprendizaje en el aula.

Durante la última década el índice nacional de la eficiencia terminal se ha incrementado de manera sostenida aunque aún persisten diferencias importantes entre los niveles de las entidades federativas. Si bien la distancia entre la entidad que presenta la cifra más alta y la que observa la más baja para este indicador se ha reducido en el transcurso de la década, son los estados con mayores índices de marginación los que presentan las eficiencias más bajas.

2.2 NECESIDADES ACTUALES DE LAS AULAS C.A.P.F.C.E.

2.2.1 DEMANDA

La demanda de escuelas y el número de alumnos por maestro ha tenido cambios en los últimos años como consecuencia de la transición demográfica por la que está pasando el país.

Durante el siglo XX los altos índices de mortalidad característicos de las sociedades tradicionales experimentaron una disminución en México. Este proceso provocó una aceleración gradual de la tasa de crecimiento natural de la población que pasó del 2.3% en 1930 a 3.5% en 1965. A partir de ese momento empezó a reducirse hasta registrar un nivel de 1.7% en 2000. En la actualidad el país tiene una población de unos 100 millones de personas y puede anticiparse que se estabilizará entre 130 y 150 millones hacia mediados del siglo XXI. En el mismo periodo la población tendrá un crecimiento cada vez más reducido, con un perfil de envejecimiento progresivo (SEP 2001).

De acuerdo con los análisis del Consejo Nacional de Población, la dinámica demográfica de México muestra dos tendencias que influirán en la evolución de la demanda de los servicios educativos durante las próximas décadas:

- Reducción de la población menor de 15 años y el correlativo incremento de la población en edad laboral, entre 15 y 64 años, así como los mayores de 65 años
- Aumento del número de localidades pequeñas, dispersas en el territorio nacional.

Estas estadísticas nos muestran una inminente reducción en la población escolar a nivel primaria en los albores del siglo XXI. Esta situación insinúa una futura reducción en la construcción de aulas de dicho nivel y abre la posibilidad de diseñar aulas nuevas para una menor cantidad de alumnos, esta reducción permite a los alumnos un mejor servicio.

La demanda de escuelas en los primeros niveles de educación ha disminuido en los últimos años mientras que los niveles superiores han aumentado su población, esto se debe a la deceleración sostenida del crecimiento que la población ha venido experimentando en nuestro país en los últimos años. Este fenómeno aún no se ha manifestado en los niveles superiores ya que sus estudiantes nacieron antes de que empezara a declinar la tasa de crecimiento de población. En el Distrito Federal ya se han cancelado grupos vespertinos de primaria debido a la disminución de aspirantes.

Además de la disminución del porcentaje de población de baja edad a nivel nacional las escuelas de gobierno enfrentan la creciente competencia de las escuelas privadas que tienden a ganar cada

vez una mayor participación. Esta situación puede ser aprovechada para ampliar los horarios en que las aulas están a disponibilidad de los alumnos, pudiendo tomar clases en la tarde y en la mañana, como sucede en algunos países de Europa.

Para el ciclo 2001-2002 se estima una matrícula de 23.8 millones de alumnos en la educación básica, de los cuales 3.5 millones están inscritos en preescolar, 14.8 millones en la enseñanza primaria (cifra que representa por sí sola alrededor del 50% de la población estudiantil del país) y los 5.5 millones restantes corresponden a la educación secundaria (S.E.P.). Desde el año de 1980 se ha observado un estancamiento en el crecimiento del número de alumnos de primaria como se puede observar en la gráfica de estadísticas de la DGPPP, Dirección General de Planeación, Programación y presupuesto (figura 2).

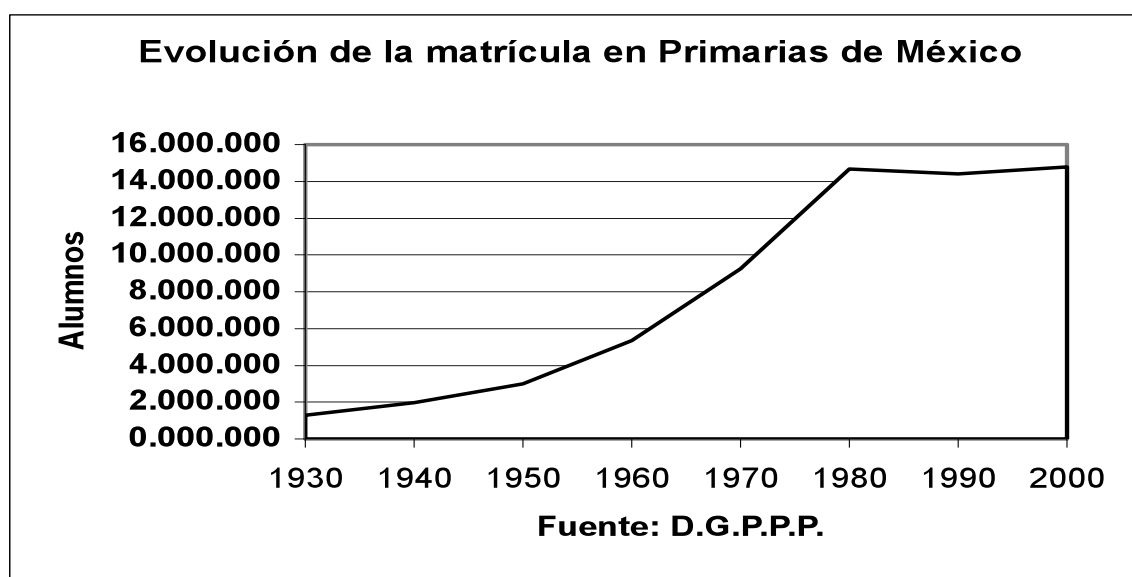


Figura 2: Crecimiento nacional de la matrícula a nivel primaria

La disminución en la población infantil sumada al aumento de la gente en edad productiva ha facilitado una mejor atención a los alumnos disminuyendo la cantidad de niños a cargo de cada maestro. Se ha experimentado una transición de una relación de 1 maestro por cada 50 alumnos en los años sesentas hasta llegar a 1 por cada 27 en el año 2000, si bien el mayor periodo de disminución fue entre 1970 - 1990 la tendencia sigue vigente hasta nuestros días (figura 3).

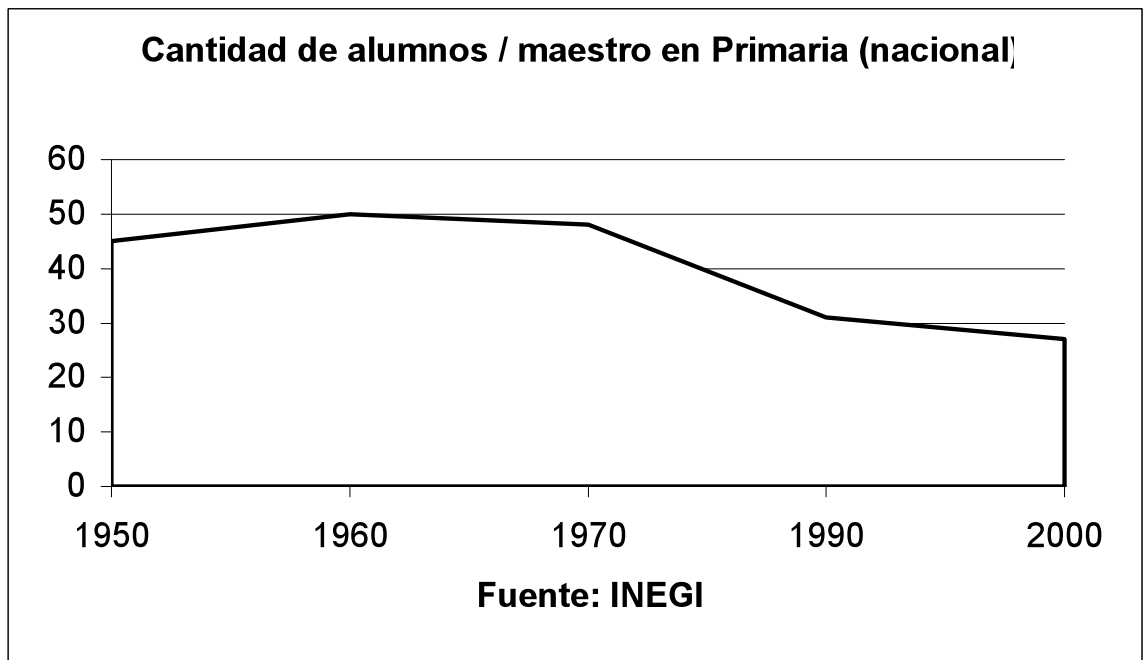


Figura 3: Relación alumno-maestro por cada grupo

Esta firme tendencia hacia la disminución de alumnos por aula indica que la estimación de una ocupación de 40 usuarios para las aulas del CAPFCE resulta sobrecalculada para la realidad vigente y de los próximos años. Una menor ocupación en aulas equivale a una menor ganancia térmica interna, misma que es favorable a la mayor parte del país que enfrenta climas cálidos. Es aconsejable que el diseño bioclimático de aulas nuevas tome en cuenta esta situación que difícilmente puede ser revertida.

2.2.2 UBICACION

A lo largo del siglo XX se produjo en México una profunda transformación en los patrones de asentamiento de su población, mientras en 1900 sólo una de cada 10 personas habitaba en alguna de las 33 ciudades entonces existentes, hoy siete de cada 10 vive en alguno de los 372 centros urbanos del país.

Puede estimarse que la población urbana seguirá en aumento, y que el número de personas que habita en localidades de menos de 2,500 habitantes disminuirá 24.8% a 21.7% del total de la población (figura 4).

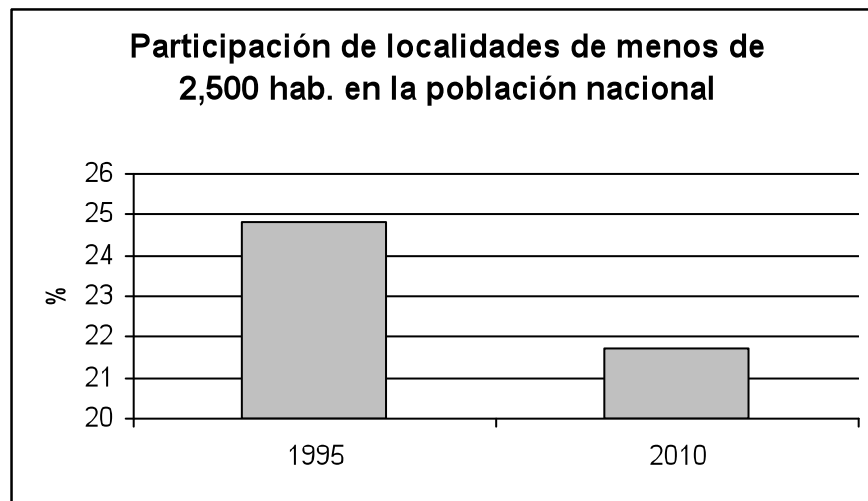


Figura 4: Las poblaciones pequeñas son cada vez menos importantes sobre el total nacional

Las grandes urbes reducen el ritmo de su crecimiento, mientras que las de tamaño medio lo incrementan, entre 1985 y 1995 el crecimiento de las ciudades de más de un millón de habitantes pasaron de cuatro a seis, en cambio, las que tienen entre medio millón y un millón de habitantes pasaron de 4 a 18, e incrementaron su participación en el total nacional de 6.8% a más de 20% (SEP, 2001).

El hecho de que las concentraciones urbanas continúen creciendo no significa que disminuya el número total de los asentamientos pequeños, que rondaba la cifra de 150,000 en la última década, de hecho, al mismo tiempo que la población se concentraba en las ciudades, se registró un proceso de dispersión con el surgimiento de ciudades de escasa población. No está claro en que medida se modificará en el futuro los patrones de los asentamientos, pero por lo menos en el corto plazo será necesario proveer formas apropiadas para atender la demanda de servicios educativos de la población dispersa. De cualquier forma queda claro que la tendencia de las grandes ciudades de registrar mayores aumentos se mantendrá. Este hecho sugiere la conveniencia de utilizar como ejemplos a ciudades de mediana importancia ya que es ahí donde el crecimiento de la población será mayor en los próximos años.

2.2.3 PROBLEMAS OPERATIVOS

Las necesidades de las aulas nuevas fueron discutidas en el Taller Internacional sobre Infraestructura Educativa (2002). Entre las principales necesidades que se comentaron fueron, según Rosalio Nava (CAPFCE) la transformación del diseño de espacios y mobiliario del sector educativo que deben llevar a cabo los encargados de la infraestructura educativa dando especial importancia a:

- Flexibilidad
- Autonomía
- Apego a la realidad
- Participación social
- Inclusión de elementos de la entidad (regionalizar)
- Multifuncionalidad

Es menester contar con la participación de especialistas (pedagogos, sociólogos, psicólogos informática etc.) en el diseño de espacios educativos de acuerdo a cada región, que tengan una orientación precisa a los municipios, en el sentido de que el diseño debe cumplir con un número mínimo de especificaciones en:

- Seguridad.
- Calidad.
- Comodidad.

De esta última parte nos podemos dar cuenta de la gran importancia que el CAPFCE le da a la comodidad en sus aulas al considerarlo entre los tres factores principales que deben ser considerados para la concepción de las nuevas escuelas. La incapacidad del gobierno para dotar a las aulas de sistemas mecánicos de refrigeración hace evidente la conveniencia de los sistemas bioclimáticos para lograr los objetivos de comodidad.

2.3 DISEÑO DE LAS AULAS DEL C.A.P.F.C.E.

La enmienda de seguridad estructural en los planteles de educación y la demanda no cubierta en crecimiento, han hecho que las escuelas diseñadas bajo la supervisión del C.A.P.F.C.E. se construyan bajo un prototipo de edificación industrializada que permite la satisfacción de la demanda en cantidad aunque no en calidad. El patrón de estandarización en la construcción en serie de inmuebles escolares ha omitido la consideración de las características del clima de las diferentes regiones del país, así que lo mismo se edifica una escuela en Monterrey que en Chiapas, sin variar en absoluto las especificaciones de construcción, ello debido en parte a las limitantes de presupuesto y en otra a los tiempos de ejecución.

Ante tal situación y con el afán de satisfacer la demanda creciente de aulas, se construyen escuelas dentro de un programa de industrialización que pasa por alto algunas necesidades elementales de confort como lo es la ventilación y las ganancias térmicas de los materiales por incidencia solar directa (Morales, 2003).

El C.A.P.F.C.E. dispone de dos tipos de aulas para la construcción de escuelas primarias, en ambos casos las medidas internas son iguales, tan solo cambia ligeramente el área de ventanas. Cuando se edifica más de un aula las construcciones se agrupan en módulos, en algunas ocasiones se diseñan edificios de 2 pisos, sin embargo solo son consideradas las aulas de un piso dado a que es más común su empleo. Se ha tomado en cuenta únicamente el estudio del aula tipo que suele construirse con mayor frecuencia. Sus características principales son las siguientes:

Las medidas entre ejes son de 6 x 8 metros, los muros de 8 metros son los de colindancia con las demás aulas y los muros de 6 metros son de fachadas y tienen ventanas y puerta. La fachada que tiene ventanas y puerta está hacia el Sur y la que solo tiene ventanas está hacia el Norte.

El techo de las aulas es a dos aguas y la losa se prolonga mediante saledizos que miden 1.20 mts en las dos fachadas. La pendiente es de 11 grados y tiene la cumbrera al centro soportada por una viga. La orientación debe ser en todos los casos Norte - Sur con una desviación máxima de 15 grados.

Adicionalmente el terreno debe tener una pendiente máxima de 15%, ubicarse cerca de núcleos de población que oscile entre los 7 y los 14 años y prever en uno de sus lados por lo menos la vialidad y el transporte.

2.3.1. ESPECIFICACIONES GENERALES DE AULAS

Impermeabilización:

Tipo CAPFCE para azotea: 2 capas de asfalto oxidado #12 una capa de fieltro garza # 15 flexine una capa de fieltro garza #75 y protección de ladrillo rojo recocido; espesor: 4 cms, conductividad: $0.63 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, resistencia: $0.0635 \text{ m}^2\text{C/W}$, Absortancia, 0.65

Losas de azotea:

Está hecha a base de concreto armado de un espesor de 10 cms., es colada sobre cimbra aparente, y acabada por el lecho inferior con pintura vinílica, conductividad: $1.13 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, Resistencia: $0.0885 \text{ m}^2\text{C/W}$.

Muros:

Su material es el tabique común o similar, (6 x 10 x 20 cms.) aplanado con mezcla y acabado con pintura vinílica por el interior y al exterior acabado según criterio, espesor: de 10 cms, conductividad: $0.84 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, Resistencia: $0.1667 \text{ m}^2\text{C/W}$, Transmisión: $6.00 \text{ W/m}^2\text{C}$

Circulaciones:

Concreto escobillado recto fino con juntas a hueso, acabadas con volteador (19mm)

Faldones:

Concreto aparente 12 x 50 cms y 12 x 41 cms

Pretils:

Concreto aparente 12 cms de espesor

Cadenas:

Concreto aparente 14 x 14 cms y 14 x 20 cms

Pisos:

Mosaico uso rudo de 30x30 cms sobre un firme de concreto armado de 8 cms de espesor

Trabes:

Concreto aparente 55 x 25 cms

Columnas:

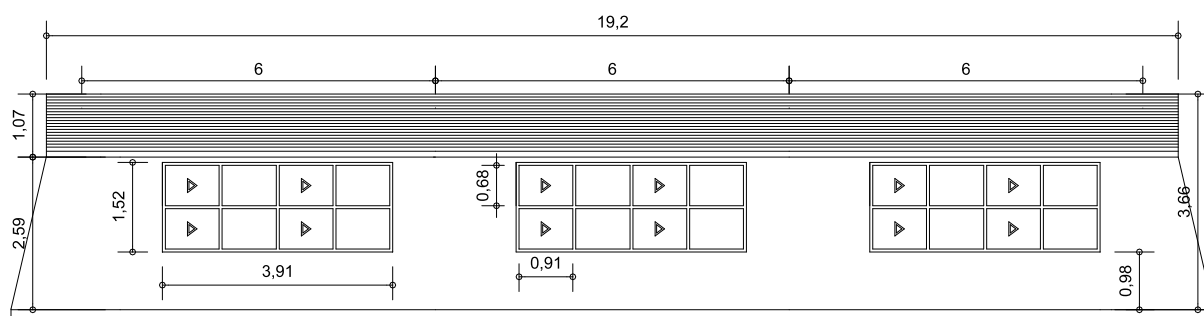
Concreto aparente 45 x 30 cms

Zoclo de concreto aparente de 10 cms

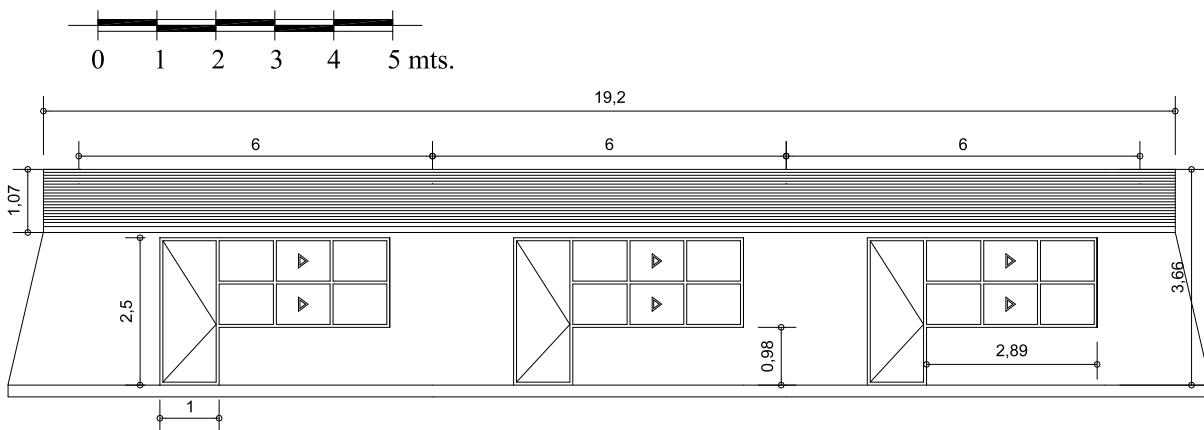
Barandales:

Metálico tipo CAPFCE o concreto aparente con gárgolas precoladas o integrales al barandal.

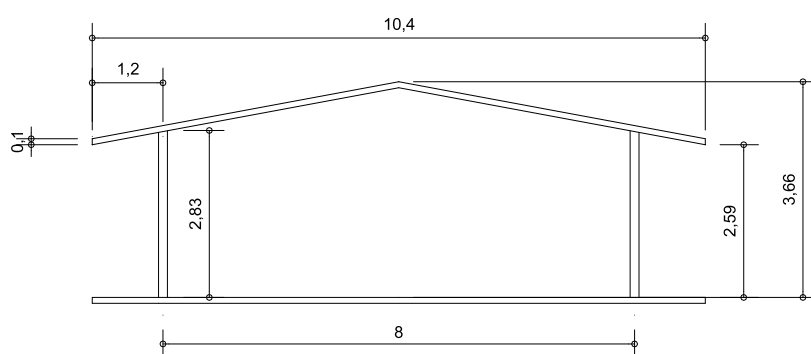
2.3.2 PLANOS ARQUITECTONICOS DE AULAS ACTUALES (FIGURAS 5 Y 6)



Fachada Norte



Fachada Sur



Fachada Este y Oeste (solo en aulas de los extremos del módulo)

Figura 5: Fachada de un módulo de escuelas del C.A.P.F.C.E.

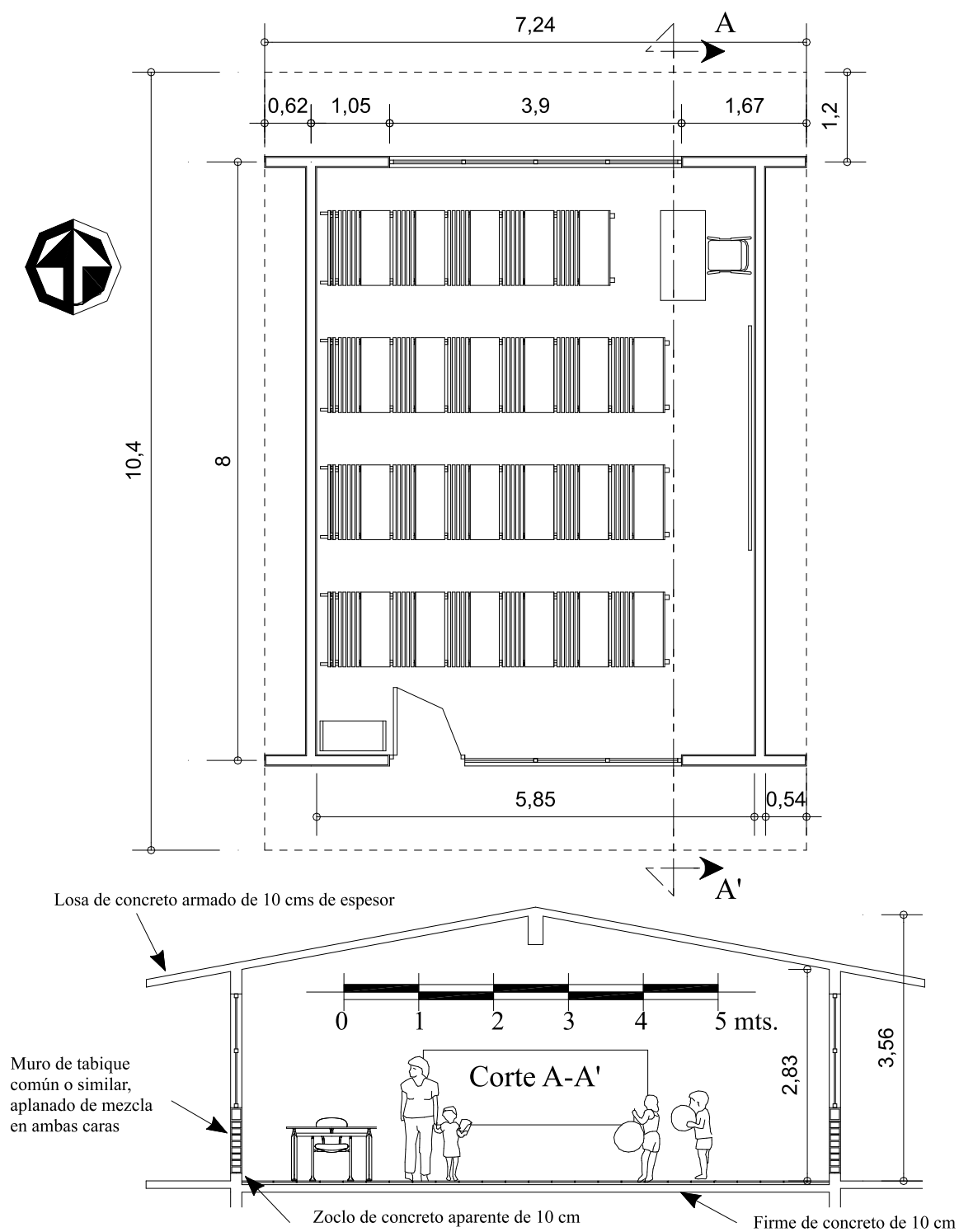


Figura 6: Planta arquitectónica y cortes de un aula del C.A.P.F.C.E.

CAPITULO III

METODOLOGIA PARA DIAGNOSTICO

3.1 CARTA PSICROMERTICA

La función de esta tabla es precisar el nivel de confort, y en su caso, la recomendación de estrategias de mejoras mediante la manipulación del contenido de humedad en el ambiente.

El empleo de esta carta para esta tesis es imprescindible ya que la humedad es el segundo factor que influye en la sensación de comodidad, en general si se combina una humedad elevada con una alta temperatura se produce una sensación opresiva, (Dreyfus, 1960), según este autor la comodidad se encuentra entre 20% y 70% de humedad relativa si bien Givoni propone una zona más amplia para países cálidos del tercer mundo (fig. 7).

El trazo de esta carta sufre variaciones dependiendo de la altitud sobre el nivel del mar por lo que se debe utilizar diferentes cartas para cada altitud.

El empleo de la carta requiere de los datos de temperatura de bulbo seco y de humedad relativa de la localidad en cuestión, lo más conveniente es contar con los datos hora por hora para conocer el comportamiento a lo largo del día.

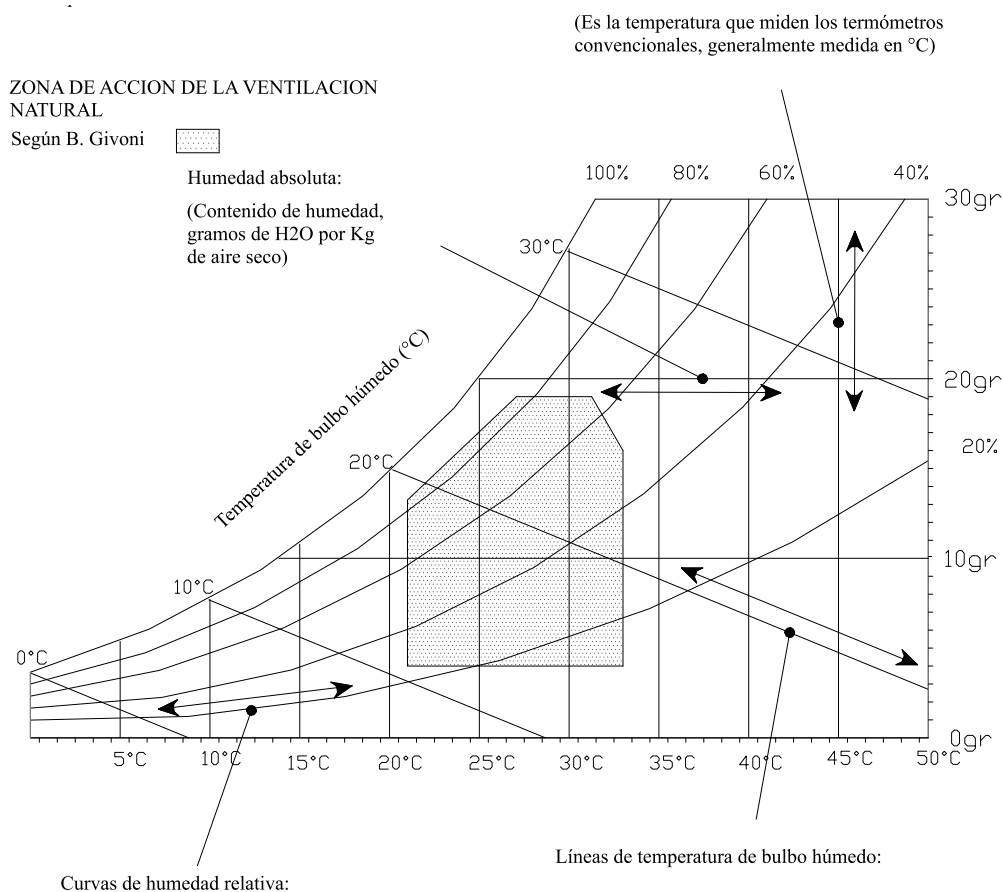


Figura 7: Explicación de la tabla psicrométrica

La zona de confort varía dependiendo de la aclimatación de los diferentes usuarios. Es posible modificar la temperatura de bulbo seco mediante la manipulación de humedad absoluta, para tal efecto se puede seguir la trayectoria que describe una línea de determinado valor de temperatura de bulbo húmedo. Esta trayectoria ilustra la disminución de la temperatura de bulbo seco conforme aumenta la humedad absoluta (ver figura 7), finalmente se confirma que la alteración propuesta se mantenga dentro del área de confort higrotérmico.

3.2 GRAFICA BIOCLIMATICA

Es un instrumento para conocer el estado de confort bajo ciertas condiciones climáticas. Los parámetros considerados para su uso son temperatura, humedad relativa, viento y radiación, mismos que se representarán por medio de una red de líneas. La gráfica indica las zonas donde existen requerimientos de enfriamiento o calefacción para lograr una situación de confort.

Las cartas bioclimáticas más usadas se basan en las diseñadas por Olgyay en los años sesentas para elevaciones de 330 metros sobre el nivel del mar y para usuarios con vestimenta para interiores y en actividad sedentaria o de trabajo ligero, sin embargo en las cartas modernas se puede trabajar con distintos grados de actividad metabólica de los usuarios.

El trazo de la gráfica bioclimática se compone por las líneas de temperatura de bulbo seco, en el eje de las ordenadas, y la humedad relativa en el eje de las abscisas, la zona de confort es trazada en el centro de esta carta (figura 8). Cuando se presentan situaciones fuera de confort la carta tiene trazadas curvas que representan la velocidad de viento requerida para ventilar.

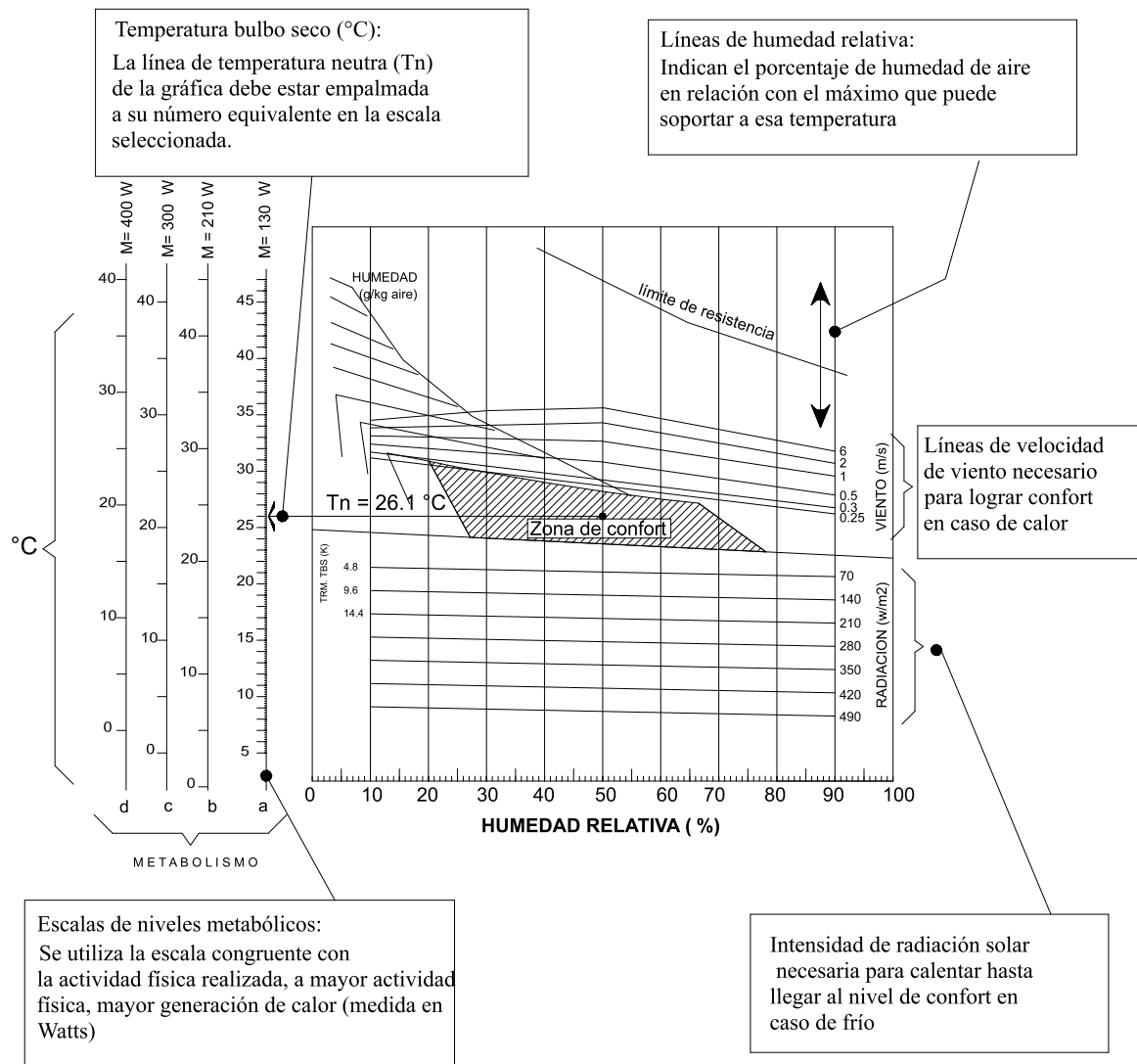


Figura 8: Explicación de la carta bioclimática

3.3 ZONA DE CONFORT HUMANO

Los cuatro parámetros base que definen el ambiente térmico son:

- temperatura de radiación
- temperatura del aire
- humedad del aire
- velocidad del aire

Adicionalmente a los anteriores factores externos hay otros involucrados en la percepción individual del confort. La zona exacta de confort para un grupo de personas es difícil de definir

debido a la diversidad de los parámetros que deben ser tomados en cuenta. Estos niveles pueden variar considerablemente entre dos individuos del mismo grupo, sin importar la temperatura presente siempre habrá un grupo de personas que se encuentren fuera de confort y en el mejor de los casos este grupo representará solo el 5% del total (De Brouwer, 2000). Según un estudio del Ministerio del trabajo de Francia y del INSEE un 25% de los trabajadores consideran que «siempre» o «a menudo» es fastidioso el ambiente higrotérmico de su trabajo. No obstante es posible establecer límites que pueden satisfacer a la mayoría de los usuarios dependiendo de las características de los elementos que tienen injerencia directa sobre la sensación de confort en las personas, (aclimatación, edad, sexo, actividad física, etc.)

El factor más decisivo para definir los límites de la zona de confort es la aclimatación. La diferencia entre sexos es menos importante, el requerimiento de confort para la mujer es 1°C mayor que el del hombre, además ella soporta mejor que el hombre pequeños aumentos de temperatura central. Los niños tienen una tolerancia menor a la pérdida de calor sin embargo su relación superficie/peso es más favorable, (De Brouwer, 2000).

3.3.1 LIMITES DE LA ZONA DE CONFORT

No hay mucha información sobre las sensaciones de confort en los países en desarrollo con climas cálidos, sin embargo los estudios de Webb 1959, Nicol 1974, Humpreys 1975 y Tanabe 1988 señalan que hay un incremento real en la temperatura que la gente considera aceptable a medida que aumenta la temperatura media anual de la localidad.

El mecanismo de adaptación al calor de los humanos ha sido estudiado por Givoni & Goldman (1973), observando que la principal mejoría que logra conseguir una persona de clima frío emigrada a clima cálido para aumentar su tolerancia al calor es el aumento en la capacidad de sudar, con lo que se puede aumentar el enfriamiento por evaporación. En segundo término observó una menor temperatura interior, un menor ritmo cardiaco y una disminución en la tensión fisiológica impuesto por un aumento de calor.

Los estudios de aclimatación artificial realizados por Givoni y Goldman (1973) evaluaron a gente trabajando diariamente bajo condiciones de calor elevadas, a las dos semanas la adaptación de las personas era casi total.

Muchos estudios han indicado que la gente de países cálidos prefiere temperaturas más altas que las recomendadas por estándares de confort europeos y norteamericanos como la ecuación de Fanger y el ASHRAE.

Según Dreyfus, la incomodidad comienza, dependiendo del grado de adaptación de las personas, con una temperatura resultante de 25°- 26°C (para el individuo adaptado) y de 21°-22°C para las personas no aclimatadas a los ambientes calurosos.

Si se hace la consideración de que no puede haber comodidad con humedades relativas mayores de 80%, pueden definirse también las zonas de comodidad con dichas curvas de humedad con las temperaturas resultantes de 21° y 25°.

La zona de confort según la guía emitida por «The American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers» (ASHRAE) en 1985 se sitúa en una concentración de vapor de entre 4 y 12 gramos por kilogramo de aire seco. Para condiciones de aire en calma (0.15 m/s en invierno y 0.25 m/s en verano) el ASHRAE considera límites de entre 23 y 26.5 °C, si la velocidad del viento aumenta, la temperatura máxima de confort también lo hará a una tasa de 1°C por cada incremento de 0.275 m/s hasta llegar a una temperatura de 28°C y una velocidad de viento de 0.8 m/s, que es la velocidad máxima tolerada por la guía del ASHRAE, este límite de velocidad parece ser muy estricto para edificios sin refrigeración artificial en países con veranos cálidos (Givoni, 1994). Se debe tener presente que la guía del ASHRAE fue hecha principalmente para edificios de oficinas con aire acondicionado, y que la gente que está acostumbrada a edificios naturalmente ventilados suele tolerar temperaturas y velocidades de viento mayores.

Existen varias fórmulas para establecer la zona de confort térmico debido a la cantidad de los factores que tienen injerencia. Se ha determinado que para los fines de esta tesis la fórmula más adecuada es la de Auliciems por la precisión y facilidad con que muestra la zona de confort térmico.

- Auliciems realiza el cálculo a través de la temperatura media de una localidad:

$$\text{Zona de confort térmico (ZCT) local} = T_n \pm 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

En donde T_n = temperatura neutra, misma que se obtiene mediante:

$$T_n = 17.6 + 0.31 (\text{temperatura media anual})$$

3.4 ESTIMACION DE GANANCIAS TERMICAS

Las principales fuentes de ganancia térmica son:

- Radiación solar
- Conducción
- Infiltración
- Generación Interna (Aparatos eléctricos y seres humanos)

3.4.1 GANANCIA POR RADIACION SOLAR

Las condiciones inestables de la atmósfera hacen necesario el estudio individual de diferentes regiones. Una de las formas más confiables para medir la radiación es mediante el estudio de la forma más difusa de la radiación total, medida en unidades de energía por unidad de tiempo por unidad de área sobre un plano horizontal mediante un piramómetro, sin embargo, en ausencia de estos medios es factible emplear relaciones empíricas para estimar la radiación global en función de las horas de insolación, porcentaje de posible insolación o nubosidad.

Entre los estudios más completos que se han hecho para el territorio nacional se encuentran los de Almanza y Muñoz (1994) y serán utilizados para los modelos matemáticos de esta tesis. Los cálculos que utilizaron se basan en el método empírico deducido por Jeevananda que obtiene la radiación global con desviaciones menores al 10%. Estos autores emplean, además de los datos de insolación, parámetros como la latitud del lugar, longitud promedio del día y número de días lluviosos al mes, así como humedad relativa promedio por día.

Los resultados de estos estudios son expresados en Langleys, cuya conversión a Watts se obtiene fácilmente mediante su multiplicación por un factor.

3.4.2 GANANCIA POR CONDUCCION

Es la obtenida a través de la envolvente constructiva, muros, ventanas, puertas y losas y depende del coeficiente de conductividad de cada material multiplicado por el espesor del mismo así como de las condiciones externas como temperatura y exposición a la radiación solar.

En los casos en que la temperatura del aire sea menor a la del interior de la construcción esta ganancia se convertirá en pérdida y en los casos de igualdad de temperaturas entre el interior y el exterior no se registrará conducción.

3.4.3 GANANCIA POR INFILTRACION

Es el aumento de temperatura generado por la infiltración de aire caliente a través de huecos existentes entre puertas y ventanas y sus marcos. Los factores que la determinan son la diferencia entre la temperatura interna y externa, la velocidad del viento al nivel de la construcción y el ángulo con que el viento impacta a la envolvente constructiva.

Esta ganancia considera únicamente el caso de ventanas cerradas ya que cuando las ventanas están abiertas se considera que el efecto es de ventilación y no de infiltración.

3.4.4 GANANCIA INTERNA PRODUCIDA POR USUARIOS

La presencia humana debe ser considerada en un balance térmico por su constante emisión de calor, los principales factores que modifican su intensidad son:

- Área de piel
- Actividad realizada
- Edad
- Peso
- Estatura

El más importante de los elementos anteriores es el área de piel debido a que el principal medio por el que el cuerpo humano disipa calor es a través de la transpiración, mientras mayor sea el área de piel hay mayores posibilidades de disipación de calor.

Es importante conocer la superficie de piel de los usuarios para calcular su generación de calor, para eso se usa la fórmula de Du Bois que a partir del peso y estatura del individuo puede suponer la superficie de piel:

$$0.202 \times \text{peso}^{0.425} \times \text{estatura}^{0.725}$$

Cuando se tiene calculada la superficie de piel se procede a multiplicarla por un factor llamado Met, que es la cantidad de calor que libera el cuerpo humano dependiendo de la actividad física, en el caso de estado de reposo cada usuario genera 1 Met.

$$1 \text{ Met} = 58.2 \text{ w/m}^2$$

Según Du Bois la generación de calor humano se calcula como en el siguiente ejemplo: un adulto promedio que tiene 1.8 m^2 de área de piel y genera un Met produce $58.2 \times 1.8 = 105 \text{ Watts}$.

El área de Du Bois varía normalmente entre 1.3 m^2 y 2.2 m^2 cuya producción de calor es de 75.6 Watts y 128 Watts respectivamente. La diferencia de producción de calor entre hombre y mujeres

es relativamente escasa, un hombre genera 105 Watts mientras que una mujer 95 Watts. En este caso de estudio no se considerará la diferencia entre sexos ya que las aulas de escuelas federales alojan a niños y niñas por igual y porque antes de la pubertad no hay diferencias entre los sexos (De Brouwer, 2000).

El metabolismo de los niños y su consecuente generación de calor se calcula mediante criterios distintos a los empleados con los adultos. Los niños y los adolescentes tienen necesidades de crecimiento y un metabolismo más elevado que los adultos, aproximadamente de 55 Watts/m² de piel contra 50 Watts/m² en los adultos, en los niños de 8 años puede incluso ser de entre 25 y 30% adicional. (De Brouwer, 2000), a estas consideraciones se debe añadir datos confiables de las medidas de los niños de las localidades a estudiar.

Las mediciones antropométricas tradicionales se han hecho con personal militar descalzo y semidesnudo, consecuentemente tienen poca relación con el estudio de usuarios de aulas primarias. Se dispone de datos antropométricos de los estudiantes de primaria promedio de toda la república mexicana y de otro estudio para el estado de Yucatán que además incluye datos de peso.

El estudio más completo encontrado para nuestro país fue hecho en el año 2000 por Cota Rangel, quién investiga la estatura media de estudiantes de todo el país de nivel primaria sin zapatos, los resultados son los siguientes:

- Estatura media del 90% de la población estudiantil: 1.43 mts
- Estatura media del 5% más alto: 1.58 mts.
- Estatura media del 5 % más bajo: 1.25 mts.

Para el estado de Yucatán se obtuvieron datos de una investigación realizada por el centro de investigaciones regionales y la facultad de medicina de la Universidad Autónoma de Yucatán, fue hecha con 2,780 niños de la región costera de Yucatán de una edad situada entre los 6 y los 16 años de ambos sexos, los datos fueron desglosados por edades, lo que permitió seleccionar un rango de edades específico y restringirse a las cifras promedio del país, el grupo finalmente considerado fue el de los niños de 12 años (la última generación de una primaria) por ser el caso más adverso debido a la mayor generación de calor por usuario.

Los resultados para niños de 12 años de Yucatán son los siguientes:

- Estatura en niños 1.40 +/- 0.09 metros
- Estatura en niñas 1.42 +/- 0.07 metros

- Peso en niños 37.06 +/- 7.73 kilogramos
- Peso en niñas 39.03 +/- 7.92 kilogramos

Los resultados de los dos estudios comparados demuestran una gran similitud por lo que se puede considerar que ambos son confiables, sin embargo se ha decidido trabajar respecto a los datos de Yucatán ya que tienen la ventaja de manejar por separado los datos de las diversas edades y géneros y por ser más exactos dentro de su universo de investigación.

Cálculo de calor generado por los alumnos

El calor generado por metro cuadrado de piel para niños de 55 W/m² es aumentado en un 25% en previsión de que las aulas sean ocupadas por alumnos de 8 años que suelen tener mayor metabolismo, de tal forma que la generación de calor prevista es $55 + 25\% = 68.75 \text{ Watts} / \text{m}^2$

El cálculo para los niños de 12 años se realiza de la siguiente forma:

$$\text{Area de piel: } 0.202 \times 37.06 (\text{kg})^{0.425} \times 1.40 (\text{m})^{0.725} = 1.20 \text{ m}^2$$

$$\text{Aporte térmico total de cada niño: } 1.20 (\text{m}^2) \times 68.75 (\text{W}) = 82.29 \text{ Watts}$$

El resultado para las niñas de 12 años es ligeramente superior:

$$\text{Area de piel: } 0.202 \times 39.03 (\text{kg})^{0.425} \times 1.42 (\text{w})^{0.725} = 1.24 \text{ m}^2$$

$$\text{Aporte térmico total de cada niña: } 1.20 (\text{m}^2) \times 68.75 (\text{W}) = 84.99 \text{ Watts}$$

Debido a que las aulas son mixtas los resultados anteriores tienen que ser promediados:

$$\text{Aportación media de ambos sexos : } 83.6 \text{ Watts por alumno}$$

3.4.5 GANANCIA INTERNA POR APARATOS ELECTRICOS

Las aulas tipo del CAPFCE están acondicionadas con 4 luminarias que disponen de 2 lámparas de 34 Watts cada una, las lámparas son de arranque rápido, 127 Volts, 60 Hz, y utilizan balastro de alta eficiencia.

El anterior equipo de iluminación llega a generar hasta 272 Watts cuando todas las lámparas están encendidas.

Las aulas cuentan además con un contacto de 125 Voltios y 15 amperes. Este aporte no será considerado en el cálculo de ganancia interna debido a que no siempre están en uso los contactos y en su caso, es muy variado el nivel de consumo y consecuente generación de calor.

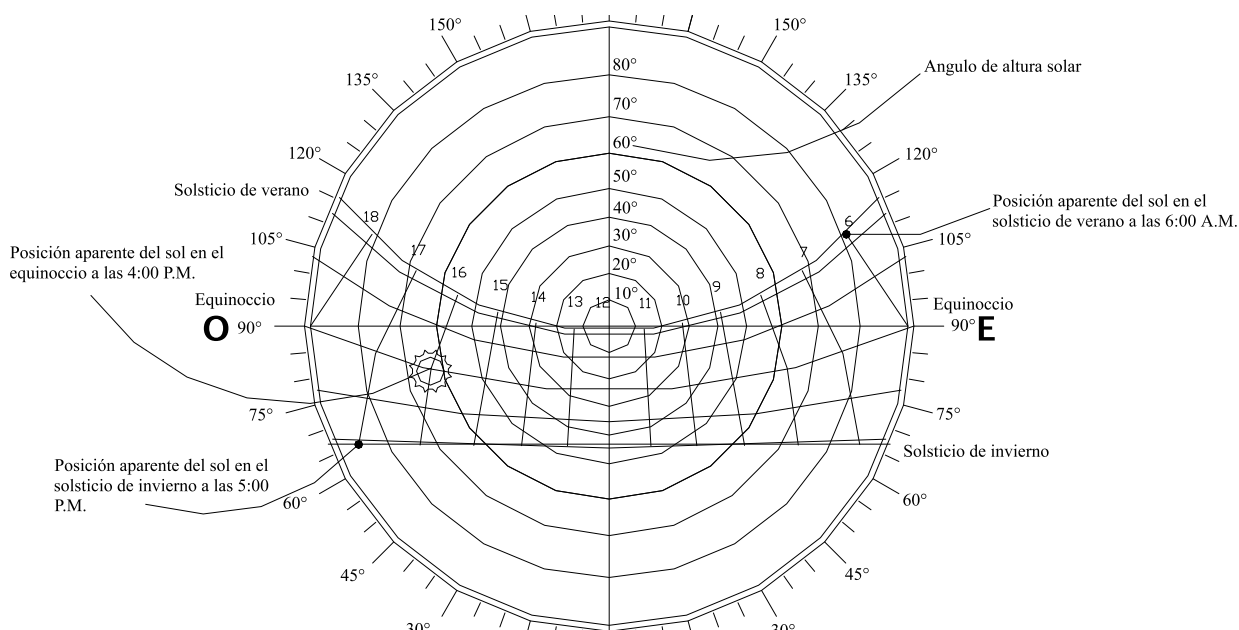
3.5 GEOMETRIA SOLAR

Hay varios métodos de representar el recorrido solar por el cielo (estereográfico, gnomónico, ortográfico y equidistante). El método estereográfico es preciso sin tener que usar maquetas, sin embargo tiene la desventaja de ser poco práctico para latitudes por encima de los 40° . Debido a que todas las ciudades de México se encuentran por debajo de esa latitud por lo que se ha decidido usar el método estereográfico.

3.5.1 METODO ESTEREOGRAFICO

Tiene la función de representar en planta, sobre una superficie circular, el recorrido del sol desde el amanecer hasta el ocaso (figura 9). Se compone de tres grupos de líneas, el primero indica el recorrido en determinadas fechas. Para los días del equinoccio la trayectoria que describen estas líneas es desde el Este exacto hasta el Oeste exacto. El segundo juego de líneas indica la hora, para el día de los equinoccios estas líneas comenzarán a las seis de la mañana.

Es posible conseguir libros que tienen las gráficas estereográficas hechas para latitudes de números enteros, sin embargo si se quiere tener la gráfica para una latitud fraccionaria es necesario interpolar y consecuentemente perder exactitud, además estas gráficas suelen ser publicadas en pequeñas dimensiones y se ha considerado conveniente trazar la gráfica exacta para cada una de las ciudades de estudio.



3.5.2 METODO GNOMONICO

Sirve para verificar el impacto del sol sobre una maqueta mediante el uso de una gráfica con un estilete en su centro. El lugar de la gráfica señalado por la sombra de la punta del estilete indica una fecha y hora, moviendo juntas a la maqueta y a la gráfica se puede simular las condiciones de insolación de diversos momentos del año (figura 10).

La principal desventaja del método gnomónico es su dificultad para operar en ángulos de altura solar muy bajos puesto que requiere que la gráfica sea bastante grande. Sin embargo este estudio no considera prioritaria la definición con precisión de la penetración solar en las últimas y en las primeras horas del día puesto que en ellas es cuando el sol provee de menores aportes térmicos.



Figura 10: Gráfica gnomónica adherida a una maqueta

Ángulos de protección solar de los volados de las aulas del C.A.P.F.C.E.

Los croquis que a continuación se muestran tienen la finalidad de ilustrar los ángulos de altura solar en que los volados de las aulas actuales son efectivos para impedir el impacto de la radiación sobre las fachadas Sur, Este y Oeste. El caso de la fachada norte no se dibuja puesto que al medio día de cualquier época del año el sombreado sobre el muro es total. Mediante el uso conjunto de estos diagramas y la gráfica estereográfica se establece la superficie expuesta a la radiación para los diferentes meses y horas.

3.5.3 ANGULOS DE PROTECCION SOLAR DE LAS AULAS

Muro de la fachada Sur

Cuando el ángulo de altura solar a las 12 del día es mayor a 67° la todo el muro se encuentra sombreado. La longitud vertical del muro que se encuentra bajo sombra puede ser calculada mediante la tangente del ángulo de altura solar es multiplicada por la longitud del volado (máximo 2.8 mts.). En cualquier circunstancia los 21 cms superiores del muro están bajo sombra por situarse por encima del nivel más bajo del volado (figura 11).

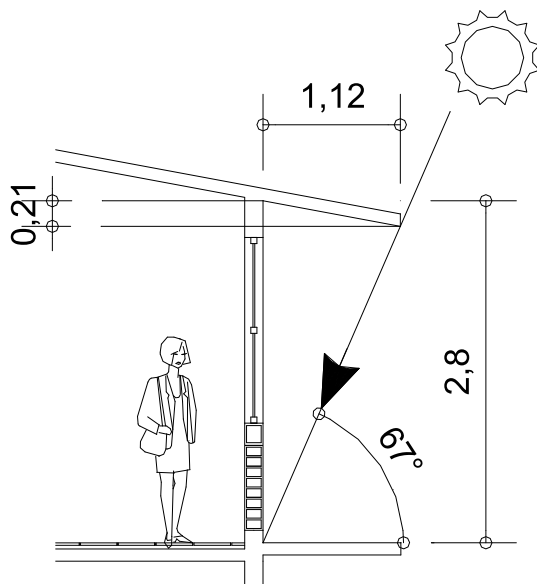


Figura 11: Angulo de protección fachada Sur

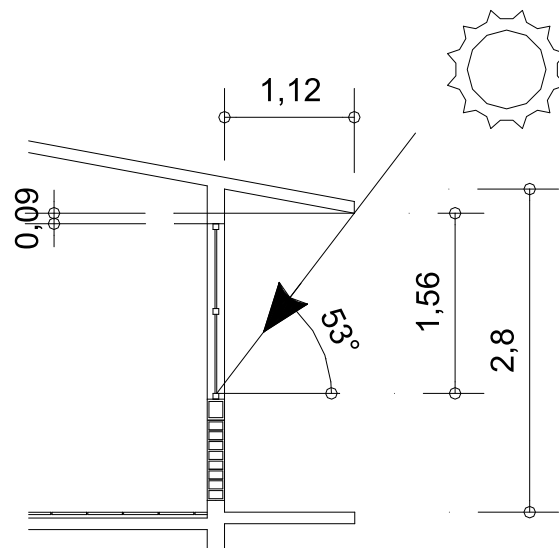


Figura 12: Angulo de protección de ventana Sur

Ventanas

Las ventanas son protegidas por el mismo volado que los muros, sin embargo el ángulo de altura solar que define una situación de sombreado total del elemento es distinto porque el alféizar de la ventana no llega hasta el nivel del piso. Si el ángulo de altura solar es mayor a 53° la ventana no recibirá asoleamiento al medio día solar (figura 12), la altura máxima de la ventana que se debe considerar es 1.56 mts., y en todos los casos se debe restar al resultado 9 cms, que es el área de muro que está sobre la ventana.

Muro de fachada Este y Oeste

Las condiciones de insolación de esos muros de estas dos fachadas son diferentes porque el volado es menos prolongado y por el distinto impacto de la radiación en las posiciones oriente y poniente. Estas fachadas reciben muy poca radiación en las horas cercanas al medio día y es en

las primeras horas (muro oriente) y últimas del día (muro poniente) cuando es iluminada la mayor proporción de su superficie. El aporte térmico de estos muros tiene escasa repercusión para el análisis de un módulo completo de aulas ya que solo las salas de clases de los extremos reciben esta ganancia y porque a esas horas el calor transmitido por metro cuadrado de muro es muy bajo. El ángulo de altura solar que protege este volado es 79° para las partes con menor altura de muros, cuando el ángulo de altura solar es superior esta parte del muro no recibirá asoleamiento porque el volado de 55 cms es suficiente para cubrir el muro en sus partes de menos altura, y solo una pequeña porción situada bajo la cumbrera queda soleada (figura 13).

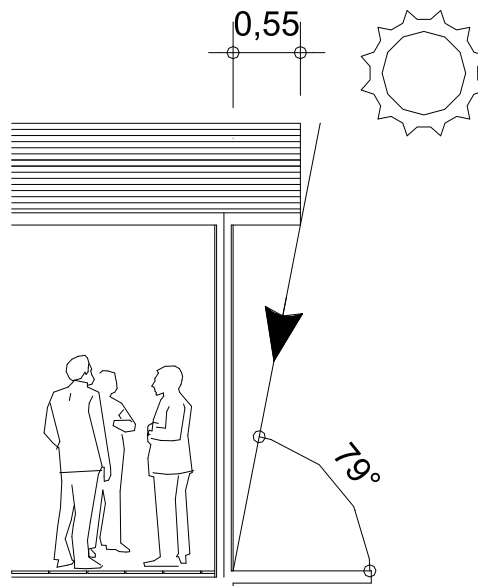


Figura 13: Angulos de protección en fachadas Este y Oeste

Cuando el ángulo de incidencia es menor a 4° con respecto a la fachada en cuestión tampoco se recibe asoleamiento ya que una mocheta de 54 cms protege al muro (figura 14). La tangente del ángulo de altura solar multiplicada por la longitud de la mocheta da por resultado la longitud del muro que estará sombreada, en el plano vertical, máximo 3.24 mts que es la altura promedio, para el plano horizontal la longitud máxima serán los 8 metros de longitud del aula.

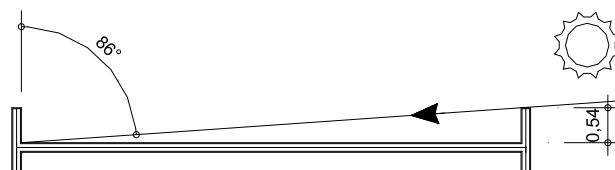


Figura 14: Incidencia solar en las fachadas Este y Oeste

3.5.4 ESTUDIO DE ASOLEAMIENTO EN AULAS

El estudio de impacto de radiación solar en fachadas se llevó a cabo mediante el método gráfico basado en la gráfica estereográfica y por medios matemáticos.

En esta gráfica (figura 15) se muestra el procedimiento para definir la superficie involucrada para una latitud, fecha y hora determinada en el caso de una aula aislada.

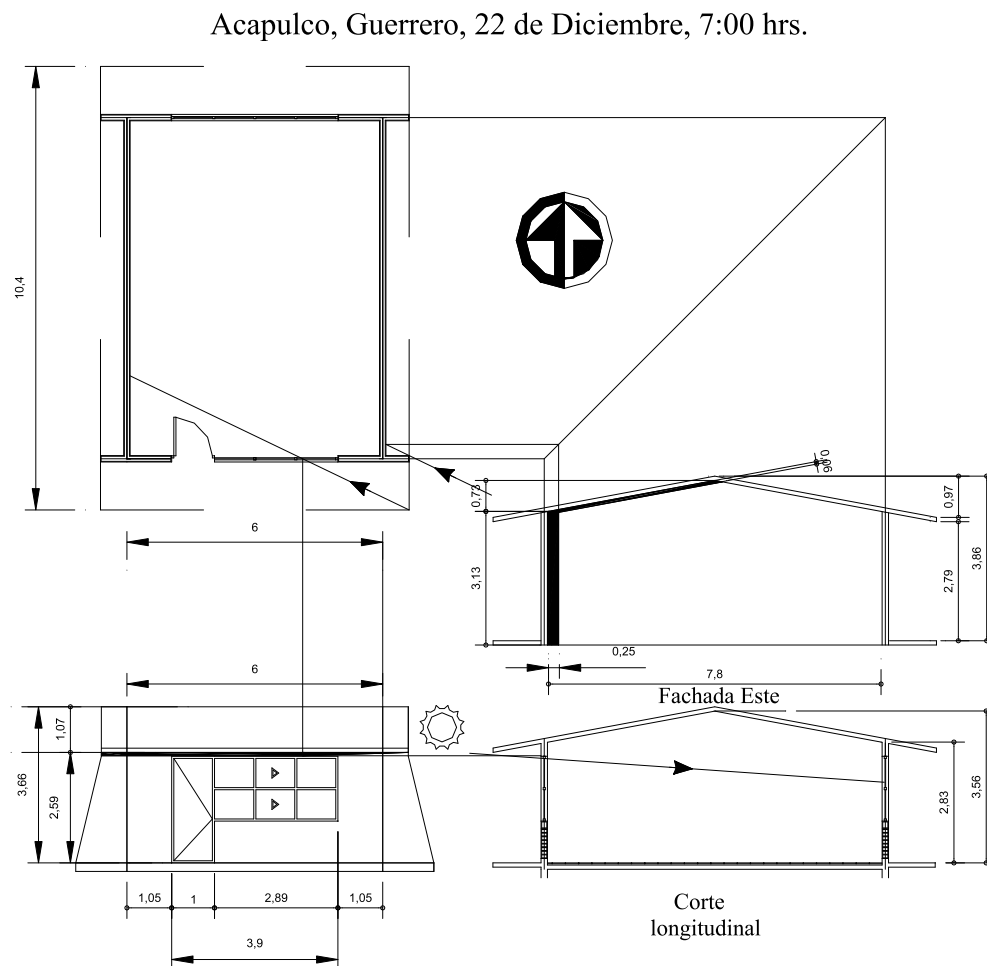


Figura 15: Estudio de asoleamiento por método gráfico

El método anterior también fue aplicado para cada una de las horas de clase de un determinado día del año con la finalidad de verificar la compatibilidad de los resultados del método gráfico con el método matemático. El resultado de esta comparación se puede observar en las siguientes páginas (figuras 16 – 18), los resultados son casi iguales por lo que se considera que el método matemático propuesto es válido y su empleo se hará extensivo al resto de los casos de estudio puesto que su manejo es más fácil y rápido.

Figura 16: Ejercicio de cálculo de la superficie asoleada mediante el método gráfico y verificación de resultados con el método matemático la tabla se encuentra a la derecha del plano.

Detalles de insolación en las aulas CAPFCE para la ciudad Acapulco el 22 de Junio en la fachada Norte

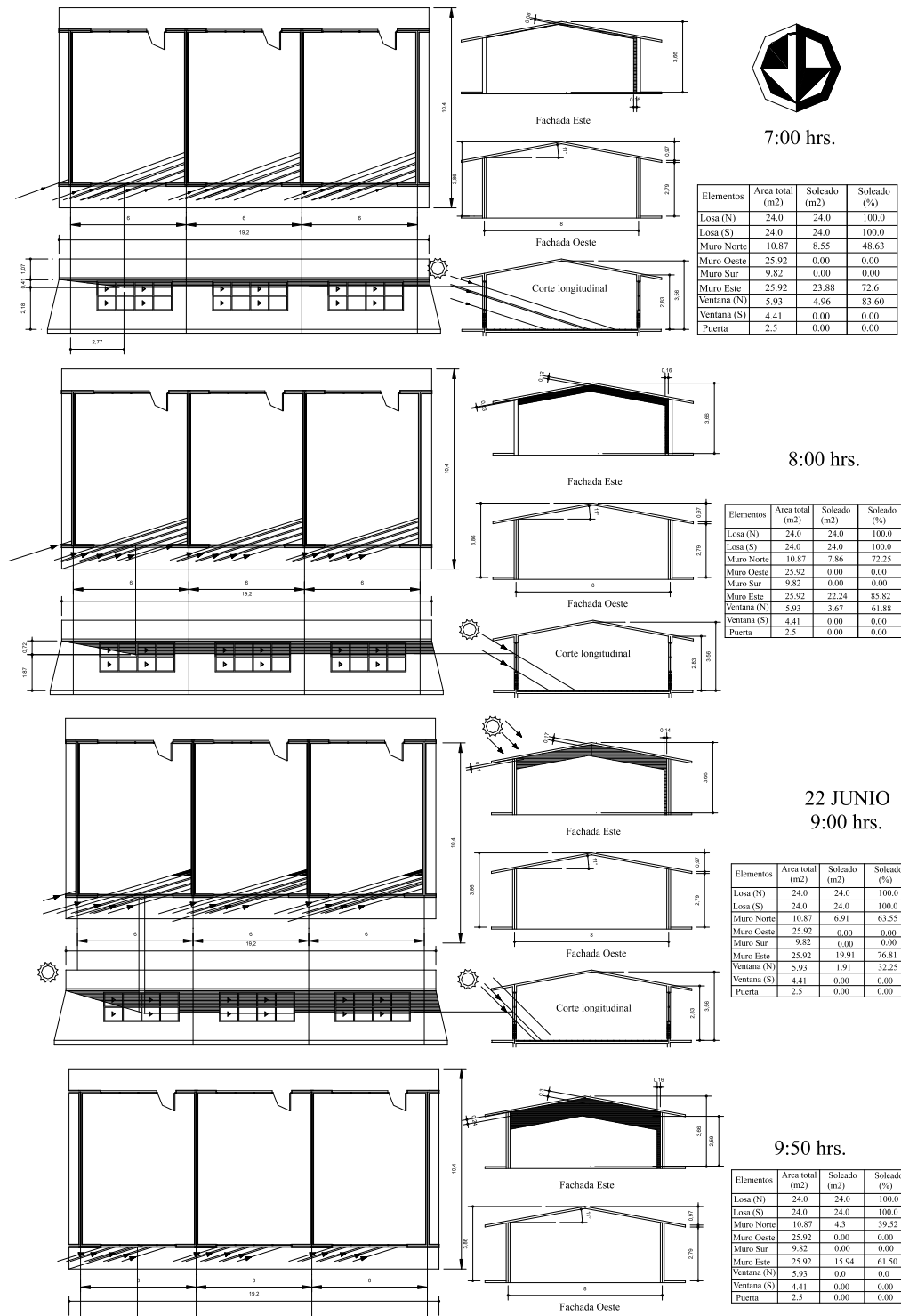


Figura 17: Ejercicio de cálculo de la superficie asoleada mediante el método gráfico y verificación de resultados con el método matemático la tabla se encuentra a la derecha del plano.

Detalles de insolación en las aulas CAPFCE para la ciudad Acapulco el 22 de Junio en la fachada Norte

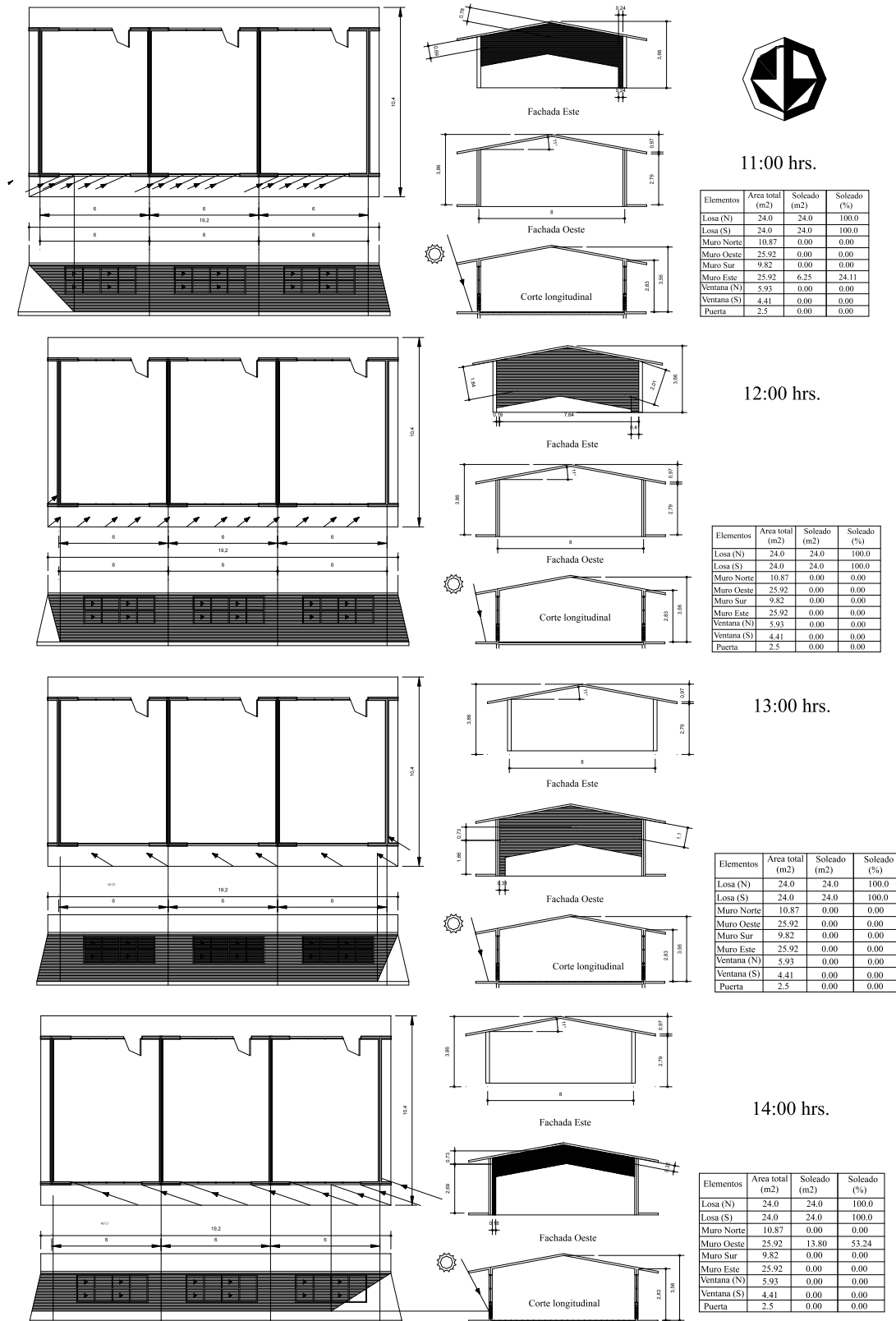
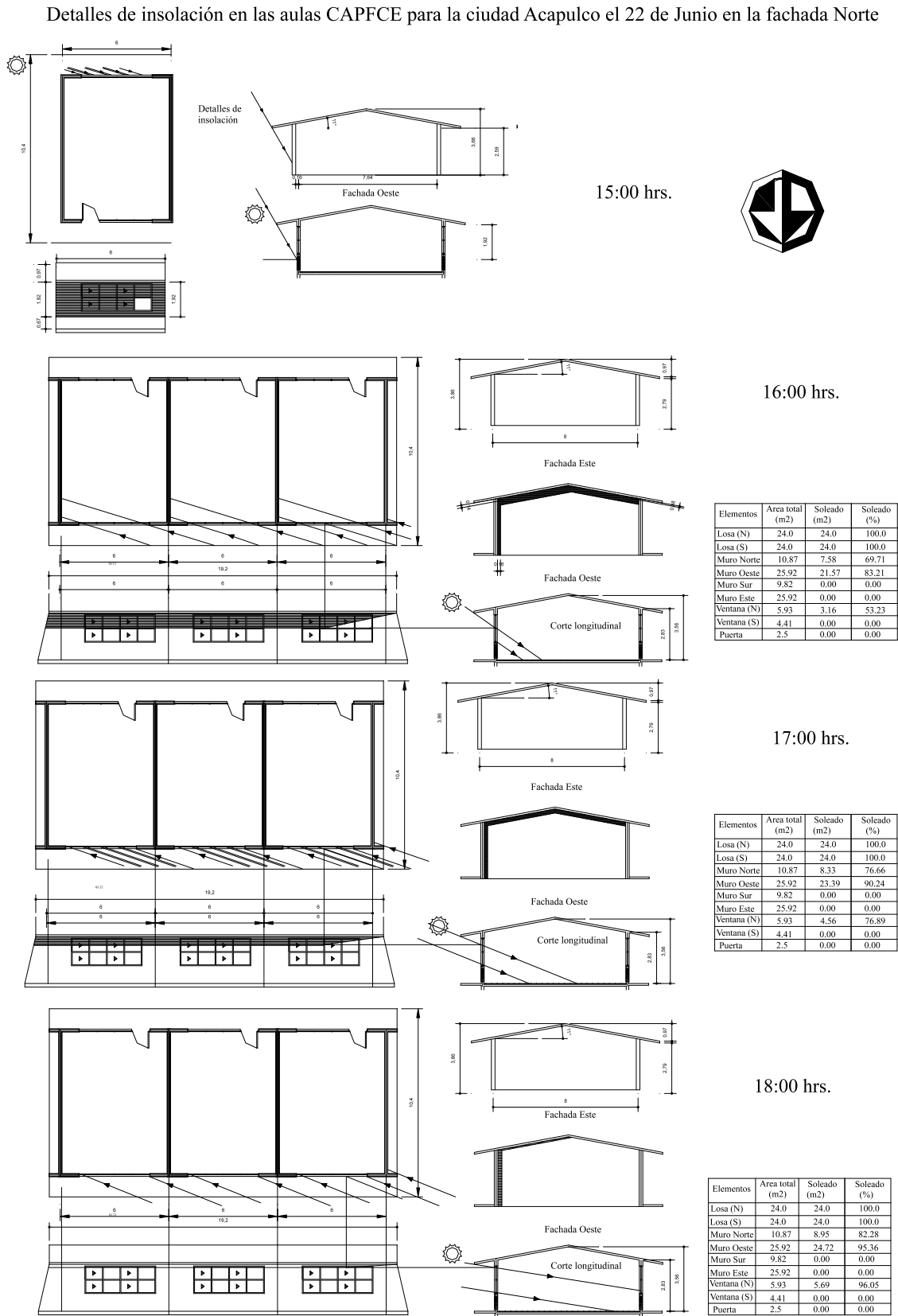


Figura 18: Ejercicio de cálculo de la superficie asoleada mediante el método gráfico y verificación de resultados con el método matemático, la tabla se encuentra a la derecha del plano.



3.6 BALANCE TERMICO (MODELO MATEMATICO)

El balance térmico es la herramienta utilizada para conocer desde antes de su construcción el desempeño térmico de un edificio con la finalidad de manipular el diseño hasta lograr un aprovechamiento energético favorable. Los programas de cómputo actuales pueden calcular con suficiente exactitud los inestables efectos producidos por la temperatura exterior, radiación solar, viento, sombreado, comportamiento de los usuarios, ventilación y diversas fuentes de ganancia interna.

Con los programas de simulación se puede calcular la distribución de la luz en relación con las necesidades fisiológicas de los ocupantes. Los edificios pueden ser visualizados y además se precisan las especificaciones técnicas. Esto permite al diseñador y al propietario tener una relación de la eficiencia del edificio antes del comienzo de la construcción y considerar los cambios que deban ser hechos con miras a elegir un sistema de construcción óptimo entre el ahorro energético y los costos de construcción.

El tipo de simulación que se usa en este trabajo es estático, este sistema calcula el balance energético sin considerar variaciones respecto al tiempo, como si las condiciones del momento estudiado se mantuvieran constantes por tiempo indefinido. Cabe señalar que este tipo de cálculo es menos exacto que el dinámico ya que no es capaz de simular el efecto de retardo térmico, sin embargo la precisión del método dinámico solo es imprescindible en edificios de cristal (Schneider, 1996).

El respectivo estudio se realizará con un método simplificado siguiendo la metodología propuesta por S. Szokolay y desarrollado en hojas de cálculo por Víctor Fuentes. Este balance térmico es estático pero calcula simultáneamente todas las horas de día con actividad escolar con la finalidad de crear gráficas que ilustren el comportamiento térmico del aula a lo largo del día.

Los cálculos son desarrollados en una hoja de cálculo de Excel®. La frecuencia del balance térmico es horaria entre las 7 de la mañana y las 18 horas para todos los meses del año con actividad escolar. Todos los análisis de un mismo día se calculan en una misma hoja para hacer varias gráficas que muestren las fluctuaciones a lo largo del día.

3.7 LABORATORIO DE CIELO ARTIFICIAL (MODELO FISICO)

La planeación de la iluminación natural es un factor importante en el diseño de un edificio ahorrador de energía. La finalidad de este cálculo es definir el área de acristalamiento óptima. Un sobredimensionamiento de ventanas puede ser perjudicial como pasa en algunos edificios diseñados en los años setentas que están recubiertos completamente por cristal, el acristalamiento sobrecalienta el interior en días cálidos, y motiva que la gente trate de mitigar la penetración solar cerrando ventanas. La reacción es que los niveles de iluminación natural descienden y obligan al uso de iluminación artificial.

Los laboratorios de cielo artificial son una de las mejores opciones de medir los niveles de iluminación en espacios de geometría compleja y ventanas obstruidas. En estos laboratorios se pueden medir los niveles de iluminación dentro de un modelo a escala para conocer antes de construir los niveles de iluminación que tendrá la edificación con un aceptable grado de precisión. La escala más usada es 1:50 (aunque algunos autores recomiendan 1:25). Estos espacios cerrados simulan las condiciones de iluminación que provee el cielo natural nublado con la mayor fidelidad posible. El objeto de esta simulación es proporcionar las condiciones necesarias para medir los niveles de iluminación al interior de maquetas. Estas maquetas deben tener los mismos colores interiores que se pretenda utilizar en la construcción en cuestión.

Las pruebas bajo cielos artificiales requieren iluminancias uniformes para todas las zonas de medición por encima de los 5000 Lux en el plano de trabajo. Esta intensidad lumínica será suficiente para medir la iluminación natural (Islas, 2002).

Las pruebas hechas en maquetas pueden arrojar resultados tan precisas como las simulaciones por computadora, incluso puede ser filmada la maqueta con cámaras de video (Schneider, 1996).

Mediante estas pruebas se pueden detectar las deficiencias antes de construir y proponer mejoras que en muchos casos se puede conseguir utilizando nuevos colores que aumenten los niveles de iluminación y que además tengan un impacto psicológico favorable. Los colores más adecuados para los lugares de estudio son los fríos ya que proveen de un ambiente tranquilo (de Chiara & Callender, 1973)

3.7.1 TIPOS DE CIELO ARTIFICIAL

Los laboratorios de cielo artificial se dividen respecto a su forma en dos tipos; hemisféricos y rectangulares, los primeros tienen forma de domo difusor reflectante opaco, la alimentación lumínica de esta cámara puede ser directa por lámparas instaladas tras la superficie translúcida o indirecta por debajo del plano de trabajo explotando la superficie reflectante. Los cielos artificiales rectangulares constan de un plafón luminoso con muros cubiertos con espejos y estrictamente colocados en forma vertical para generar las reflexiones geométricas opuestas y el efecto de infinito o bóveda.

Laboratorio de cielo artificial de la UAM Azcapotzalco

Está conformado por espejos y lámparas que simulan un día totalmente despejado permitiendo tener un nivel de iluminación estándar. Al introducir la maqueta de una construcción es posible verificar de acuerdo con la orientación cuáles serán los niveles de iluminación natural en el interior y comprobar si son aptos.

Con ayuda de sistemas de cómputo, este «cielo artificial» se utiliza también para determinar el nivel de iluminación de acuerdo con las características de la construcción y la hora del día. El equipo permite mejorar los programas de simulación, de tal manera que conjuntamente (experimento y programas de cómputo) facilitan la simulación de edificios más complejos o casas más versátiles, lo que ayuda a establecer, desde la etapa del diseño, cuáles son los mejores materiales para asegurar el confort lumínico de los interiores. (Semanario de la UAM, 2003)

El equipo con que se cuenta para el desarrollo de esta tesis es de cielo cubierto estándar y su capacidad de iluminancia exterior es de 5,600 Lux. Cuenta con un medidor del factor de luz de día para maquetas de fabricación británica marca Megatron (fig. 19) el cual posee 12 sensores de iluminación que se pueden apostar en los diversos puntos del interior de una maqueta donde se requiera registrar el desempeño lumínico (Fig 20). Estos sensores son introducidos al interior de la maqueta en la forma en que afecten lo menos posible las condiciones cromáticas del entorno del punto de medición, suelen ser introducidos por la parte inferior (figuras 21 y 22).



Fig. 19: Medidor del factor de luz de maquetas



Fig. 20: Sensor de iluminación para maqueta



Fig. 21: Inserción de los sensores de iluminación

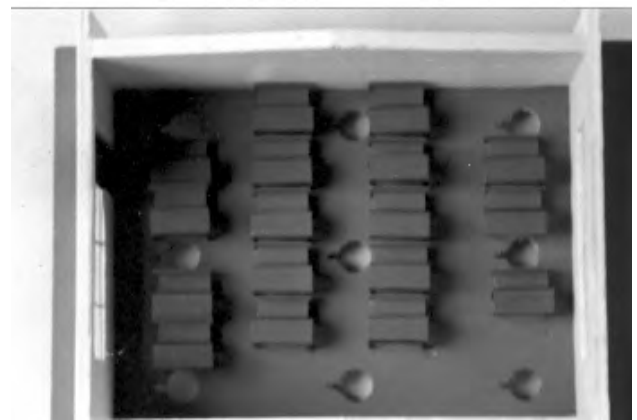


Fig. 22: Disposición de entrada de sensores

3.7.2 REQUERIMIENTOS DE ILUMINACION EN AULAS

Los requerimientos de iluminación para aulas según las normas oficiales tienen grandes variaciones dependiendo el país (Stein, 1977). Se puede considerar que el reglamento de construcciones del Distrito Federal es poco exigente a nivel internacional puesto que únicamente pide que las aulas tengan una iluminación mínima de 250 lux mientras que en otros países se requieren niveles de iluminación de hasta 500 lux.

Un estudio realizado por Electricité de France (EDF) enfocado hacia la optimización de la iluminación artificial en aulas nos es útil para proponer mejoras a la iluminación que superen a nuestro reglamento de construcción. Si bien el citado estudio está enfocado a la iluminación

artificial también tiene indicaciones que son válidas para la iluminación natural, el citado estudio arroja las siguientes conclusiones:

- El deslumbramiento molesta más a los alumnos situados en el fondo del aula que a los de la primera fila. En efecto, para ángulos visuales de observación importantes -65° a 75° - un alumno situado en el fondo del aula tiene una visión directa de las lámparas cuando mira hacia la pizarra en caso de que las luminarias no lleven rejillas de apantallamiento.
- Se deben colocar las luminarias con los tubos perpendiculares en relación al pizarrón.
- Promotelec aconseja una iluminancia media inicial de 500 lux sobre el plano de las mesas de los alumnos. Esto significa, contando con la depreciación de las lámparas y el envejecimiento de las luminarias, aproximadamente 400 lux en servicio.
- Recomienda asimismo una uniformidad de iluminancia mínima de 0.8, esto permite garantizar que ningún alumno reciba una iluminancia inferior en un 20% a la media.
- En aulas con distancia de lectura mayor de 6 m., se recomienda un nivel inicial de iluminancia media vertical de 625 lux y un coeficiente de uniformidad superior a 0,5.
- Las luminarias asimétricas genera pocos reflejos en las pizarras brillantes u opacas (mate)
- Se recomienda iluminar la totalidad del pizarrón, incluso en presencia de luz natural, para atenuar los reflejos para los observadores situados en los laterales de las primeras filas.
- Para disminuir los contrastes es conveniente disponer de revestimientos murales de tonos claros y descartar los revestimientos de suelo demasiado oscuros.
- Se debe cuidar que las paredes no sean más luminosas que las superficies de las mesas.
- La iluminación del pizarrón debe tener un apagador separado, es muy frecuente que la iluminación por luz natural sea suficiente en las mesas e insuficiente en la pizarra.

Además de estas recomendaciones generales hay otras que especifican los colores adecuados para el interior de las aulas, la reflectancia de los muros y plafones sea de 0.85, valor que solo alcanza el yeso con pintura color blanco mate, los pisos si pueden tener colores distintos al blanco puesto que deben tener reflectancias de entre 0.30 y 0.75 (García Chávez, 2001).

3.8 TUNEL DE VIENTO (MODELO FISICO)

El túnel de viento es una herramienta destinada a evaluar los niveles de ventilación natural dentro de un edificio antes de ser construido mediante la exposición de modelos a escala sometidos a corrientes de aire de similar intensidad a los vientos locales.

Un túnel de viento de circuito abierto y de succión pone a prueba un conjunto de maquetas por las que se hace pasar viento a una velocidad determinada para establecer a través de sensores la forma en que se distribuye el aire en el interior de una habitación.

Impacto de la ventilación:

En las planicies costeras los locales deben ser orientados a manera de recibir la brisa, una buena ventilación cruzada aún con vientos débiles en el exterior renueva una cantidad considerable de aire interior.

Lee (1951) ha demostrado que es la elevada presión del vapor de agua conjuntamente con la falta de ventilación la que produce incomodidad.

Las regiones áridas tienen comúnmente problemas con la ventilación, si el viento se intensifica, se vuelve molesto produciendo tolvaneras. Por otra parte, si la temperatura del aire sube en estas regiones por arriba de la temperatura de la piel (unos 35°C), la ventilación no produce alivio y es preferible evitar que el aire caliente penetre al interior.

Sin embargo según Givoni, (1994), la ventilación puede ser utilizada en cualquier momento que sea psicológicamente benéfico a lo largo del día.

Lo más adecuado para garantizar la calidad del aire es disminuir la cantidad de alumnos, Arthur Morin realizó estudios en escuelas comunales en Grenelle, Francia, sobre la ventilación de las aulas con calefacción para el mes de Febrero, se estudiaron 4 aulas equipadas con una chimenea de evacuación de aire y calefacción que tenían una base de 10.6 x 8.25 mts y cuya altura era de 5.40 mts. Considerando una ocupación de 120 alumnos el volumen de aire por persona era de 3.37 m³, a pesar de que la altura de los salones de clase la ventilación parecía ser insuficiente.

Los sistemas de ventilación utilizados en las aulas no fueron lo suficientemente eficaces garantizar la renovación de aire necesaria para lograr un ambiente salubre. El aula que arrojó los resultados más favorables estaba ocupada por solo 76 alumnos con un volumen de aire de 5.35 m³ por alumno y tenía muy poco olor. Es necesario remarcar que el aula estaba destinada a 120 alumnos y solamente fue ocupada por 76.

La característica principal del aula más adversa es que tenía una total ocupación, 120 alumnos, (evacuaba 2.35 m^3 de aire por hora por alumno)

Los resultados de este estudio nos indican que para que la ventilación sea eficiente se necesita de una baja densidad de ocupantes dentro del espacio habitable.

Túnel de viento de la UAM Azcapotzalco:

El equipo para las pruebas de viento del laboratorio de diseño bioclimático de la universidad es un túnel de succión de circuito abierto con 4 motores de 5 caballos de fuerza cada uno y posee un sistema digital para control eléctrico tipo Varic (variador digital de velocidad y presión). El túnel tiene un ducto de madera que en corte transversal describe la forma de un cuadrado con una dimensión de un metro por lado y cuya longitud es de 6.3 metros (fig. 23). El túnel se ensancha en la zona de entrada para captar con mayor eficiencia el aire (fig. 24). El fluido que entra tiene que filtrarse a través de una retícula de tubos que tiene la finalidad de estabilizarlo y volverlo menos turbulento. Después de la toma de aire se sitúa una puerta lateral hecha con material transparente que sirve para introducir las maquetas y para observar el movimiento del viento a través de ella misma. Adelante del área donde se colocan los modelos a escala se ensancha el ducto hasta llegar a la zona de succión de aire (fig. 25). Una vez que el aire ha pasado la zona de succión del túnel la dirección cambia para dirigirse hacia arriba y finalmente desalojar el laboratorio.



Fig. 23: Túnel de viento (vista exterior)



Fig. 24: Entrada de aire

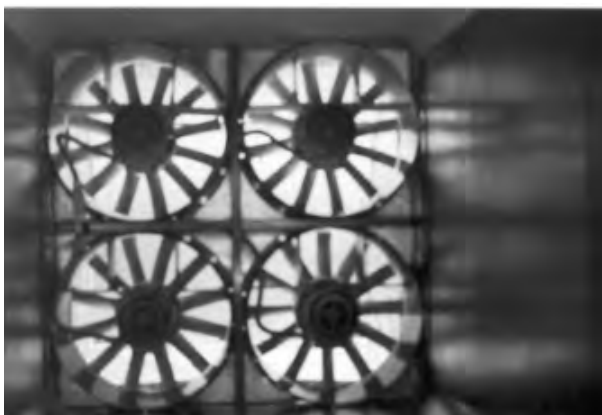


Fig. 25: Disposición de motores al final del túnel

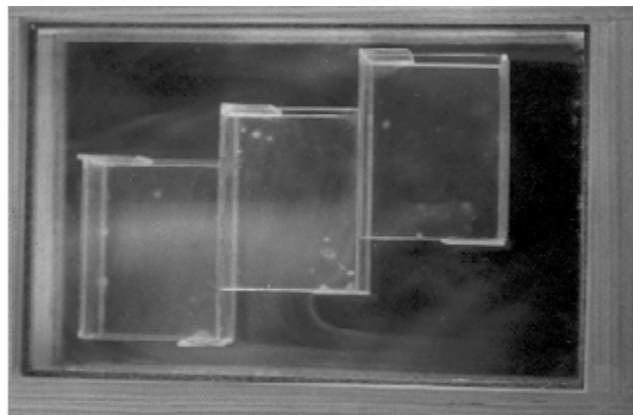


Figura 26: Caja de viento

3.9 CAJA DE VIENTO (MODELO FISICO)

Las pruebas practicadas dentro del túnel de viento contarán con el apoyo de otro tipo de simulación para observar el movimiento del aire dentro de un aula. El instrumento análogo necesario es una caja rectangular con dos extremos abiertos, en este caso tendrá unas dimensiones de 20 x 30 centímetros, aristas de madera y superficie de acrílico transparente (fig. 26).

La función de la caja es crear una zona aislada de cualquier movimiento de aire externo donde se pueda visualizar el movimiento de humo a través de modelos a escala colocados en su interior. Las maquetas que se insertan tienen una escala de 1:100 y 1:50 según el tamaño del área que se quiera conocer. Solo son representadas las dimensiones en corte del espacio por lo que estos cortes deben pasar por la zona específica de ventanas cuyo impacto se pretenda estudiar.

El humo requerido para las pruebas es generado por varas de incienso. Para garantizar el impacto del humo sobre toda la superficie de estudio se utilizan siete varas de incienso colocadas a intervalos uniformes a unos centímetros por debajo de la entrada de la caja de acrílico. La caja se coloca en posición vertical y el humo asciende de manera natural a través de la misma sufriendo alteraciones en su curso dependiendo de la forma en que choca y se conduce a través de la maqueta estudiada. En este tipo de pruebas es posible observar con mayor claridad el comportamiento del aire que en los túneles de viento, sin embargo solo permite analizar una sección bidimensional mientras que el túnel permite un completo estudio tridimensional.

CAPITULO IV

ELECCION DE CASOS DE ESTUDIO

4.1 ZONAS DONDE EL DISEÑO BIOCLIMATICO PUEDE SER MAS UTIL

Los alcances de este trabajo no permiten hacer un estudio para cada uno de los climas de México por lo que es necesario acotar los objetivos y seleccionar los climas donde sea de más provecho el uso de un diseño bioclimático. La elección de estos climas responde al nivel de problemas que en ellos se generan y a la zona de nuestro país que abarquen.

Los parámetros para formular la selección de los climas de estudio se basa en:

- Clima, temperatura promedio al mes más cálido y precipitación pluvial total anual
- Cantidad de ciudades involucradas
- Niveles de confort
- Relación entre gasto eléctrico y producto interno bruto per cápita

4.1.1 CLIMAS DE MEXICO

La definición de una clasificación climática es complicada debido a que requiere la inclusión de muchos parámetros, esta complejidad ha dado origen a varios métodos para delimitar las zonas climáticas. El sistema más difundido es el de Köppen (1930-1939) pero tiene características que no lo hacen compatible con los fines de este trabajo. Este método es tan específico que su uso puede resultar poco práctico para personas sin conocimiento previo del tema y además precisa de varios datos que no se tienen disponibles para muchas localidades.

El I.N.E.G.I. utiliza una clasificación más simplificada que puede ilustrar de manera general la distribución de los climas en México (figura 27). La división de los climas de nuestra nación se agrupa de manera muy general de la siguiente forma:

según temperatura: cálido y templado

según la humedad del ambiente: húmedo, subhúmedo y seco.

Las zonas climáticas resultantes de la mezcla de los anteriores parámetros son:

Cálido húmedo: se caracteriza por tener una temperatura media anual entre 22° y 26°C y precipitaciones de 2,000 a 4,000 mm anuales, ocupa el 4.7% del territorio nacional.

Cálido subhúmedo: tiene temperaturas que oscilan entre 22° y 26°C con regiones en donde superan los 26°C, se registran precipitaciones entre 1,000 y 2,000 mm anuales y se encuentra en el 23% del país.

Templado húmedo: se registran temperaturas entre 18° y 22°C, las precipitaciones son en promedio entre 2,000 y 4,000 mm anuales y comprende el 2.7% del territorio nacional.

Templado subhúmedo: observa en su mayoría temperaturas entre 10° y 18°C y de 18° a 22°C, sin embargo en algunas regiones puede disminuir a menos de 10°C, registra precipitaciones de 600 a 1,000 mm en promedio durante el año, se encuentra en el 20.5% del país.



Figura 27: Clasificación climática usada por el I.N.E.G.I

Seco: se encuentra en la mayor parte del centro y norte del país se caracteriza por una circulación de vientos que provoca escasa nubosidad y por precipitaciones pluviales de entre 300 y 600 mm anuales, sus temperaturas en promedio son entre 22° y 26° C para algunas regiones y en otras de 18° a 22° C, esta región comprende el 28.3% del territorio nacional.

Muy seco: registra temperaturas en promedio de 18° a 22°C, con casos extremos de más de 26°C, en general presenta precipitaciones anuales de 100 a 300 mm, se encuentra en el 20.8% del país.

Según esta clasificación los climas más importantes de México respecto a su extensión geográfica son por mucho los secos y muy secos que en conjunto ocupan el 49.1% del territorio, los climas cálidos húmedos y sub-húmedos son el segundo más importante y ocupan más de una cuarta

parte del país, 27.7%, y por último los templados húmedo y subhúmedos participan con un 23.2%. Estas cifras sugieren la mayor importancia en superficie de los climas secos y en segundo término de los cálidos húmedos. Esta división es útil para evaluar la extensión geográfica pero no está hecha para fines de diseño de espacios habitables.

En 1990 Figueroa y Fuentes propusieron una nueva clasificación climática del país orientada hacia las necesidades de diseño bioclimático tomando como parámetros de división tres rangos de precipitación pluvial anual y tres rangos de temperatura media al mes más cálido que conforman nueve grupos climáticos.

Esta nueva clasificación se ilustra de la siguiente forma:

Clima	Temp. media al mes más cálido	Precipitación total anual
Cálido seco	> 26 °C.....	< 650 mm
Cálido semi-húmedo	> 26 °C	650 a 1000 mm
Cálido húmedo	> 26 °C	> 1000 mm
Templado seco	21 a 26 °C.....	< 650 mm
Templado	21 a 26 °C.....	650 a 1000 mm
Templado húmedo.....	21 a 26 °C.....	> 1000 mm
Semi-frío seco	< 21 °C	< 650 mm
Semi-frío	< 21 °C	650 a 1000 mm
Semi-frío húmedo	< 21 °C	> 1000 mm

Esta clasificación se presta es más práctica para evaluar los requerimientos de diseño de las edificaciones y es la que rige la elección de las ciudades de estudio de cada uno de los climas seleccionados.

4.1.2 CANTIDAD DE POBLACIONES INVOLUCRADAS EN CADA CLIMA

El mismo estudio de Figueroa & Fuentes estableció la incidencia de estos climas respecto a la cantidad de ciudades importantes que se ubican dentro de cada demarcación en vez de hacerlo respecto a su extensión geográfica. Se desglosó un listado de 236 poblaciones de todo el territorio nacional y el porcentaje para cada caso fue el siguiente:

Semi-frío Seco: 10.16%	Templado Seco: 11.01%	Cálido Seco: 18.64%
Semi-frío: 8.74%	Templado: 8.89%	Cálido Semi-húmedo: 10.16%
Semi-frío húmedo: 7.20%	Templado húmedo: 4.23%	Cálido húmedo: 21.18%

Se puede observar que los climas cálido seco y cálido húmedo son los que se presentan en un mayor número de ciudades, los dos juntos representan casi el 40% de las poblaciones comprendidas en el estudio.

Las dos metodologías para reconocer la diversidad climática del país se basan en parecidos parámetros de temperatura y precipitación mientras que su definición cuantitativa se elabora sobre cuestiones geográficas o demográficas. El análisis de los resultados de ambos casos revela patrones comunes, los climas que se presentan con mayor frecuencia son los secos en más de un 40% del país, dentro de ellos el subgrupo más importante es el cálido seco. El segundo lugar nacional lo ocupan los climas cálidos húmedos y subhúmedos que en conjunto representan alrededor de un 30%, por último se observa que el conjunto de los climas templados en sus diversos grados de humedad son los que menos se presentan para ambos sistemas de clasificación. Se puede considerar que los climas cálido seco y cálido húmedo son los más comunes a nivel nacional.

4.1.3 NIVELES DE CONFORT EN LOS DIVERSOS CLIMAS

Los días-grado es un criterio para medir el nivel de confort de una localidad y se definen según los requerimientos de calentamiento o enfriamiento medido en grados centígrados acumulados al mes que son necesarios para entrar en la zona de confort. Este cálculo posee dos variantes, los parámetros locales o generales. Los primeros son válidos únicamente para las personas aclimatadas a determinada localidad y el último se usa para comparar distintas regiones y fija su zona de confort entre los 18°C y los 26°C (Figueroa & Fuentes, 1990). Los días-grado solo toman en cuenta las temperaturas de aire exterior y no toma en cuenta las condiciones al interior de una construcción que varían ampliamente. La relación clima-confort en México puede ser visualizada a través de la siguiente tabla (Fig. 28) que tiene una selección de las ciudades representativas de los nueve climas de México (Figueroa & Fuentes, 1990) y nos indica el balance de calentamiento-enfriamiento anual.

Clima	Ciudad	Entidad	Días grado general anual (°C)
Semi-frío seco	México	D.F.	- 555
Semi-frío	Puebla	Puebla	-491
Semi-frío húmedo	S. Tianguistengo	Edo. de México	-1063
Templado seco	León	Guanajuato	-180
Templado	Guadalajara	Jalisco	-219
Templado húmedo	Córdoba	Veracruz	-37
Cálido seco	Ciudad Obregón	Sonora	+ 667
Cálido sub-húmedo	Mérida	Yucatán	+ 281
Cálido húmedo	Veracruz	Veracruz	+ 294

Figura 28: Días-grado para varias ciudades importantes del país. (Figueroa & Fuentes, 1990)

Se puede apreciar según esta tabla que los climas que presentan menores índices de confort son los fríos mientras que en general los climas cálidos disfrutan de una mejor situación a lo largo del año. La ciudad de Santiago Tianguistengo parece más adversa que Obregón, sin embargo se debe hacer la observación que las condiciones al interior de aulas son diferentes a las externas debido a la concentración de alumnos que genera calor y puede climatizar favorablemente un ambiente frío pero al mismo tiempo puede volver incómodo un ambiente moderadamente cálido. Un resultado de días-grados positivo es más conflictivo que uno negativo dentro de una construcción densamente ocupada.

La interpretación de esta tabla muestra el nivel de distanciamiento de los niveles de confort en los climas de México y se aprecia que los casos más críticos son el cálido seco y el cálido húmedo.

Los bajos niveles de confort sugeridos por el estudio de los días-grado pueden ser sometidos a revisión por medio de la medición del consumo de energía eléctrica doméstica de cada zona. Los climas más adversos suelen tener mayores necesidades de utilizar sistemas de climatización artificial y por ende mayor gasto energético.

4.1.4 CONSUMO ELECTRICO

Las gráficas del consumo de energía eléctrica en el sector doméstico desglosado por temperatura en verano (Fig. 29 y 30) muestra los consumos totales por zona de temperatura y no detalla el consumo por habitante, sin embargo puede ilustrar que el consumo en las regiones con mayor temperatura en verano registra mayores tasas de crecimiento. Las regiones que tienen una temperatura mínima de 28° presentan el primer lugar en consumo además de una tasa de crecimiento sostenida pero el crecimiento de las zonas más cálidas es más vertiginoso.

A partir de esta estadística se puede prever que los problemas para solucionar el abasto energético doméstico a futuro se acentuará en las zonas con mayor temperatura en verano.

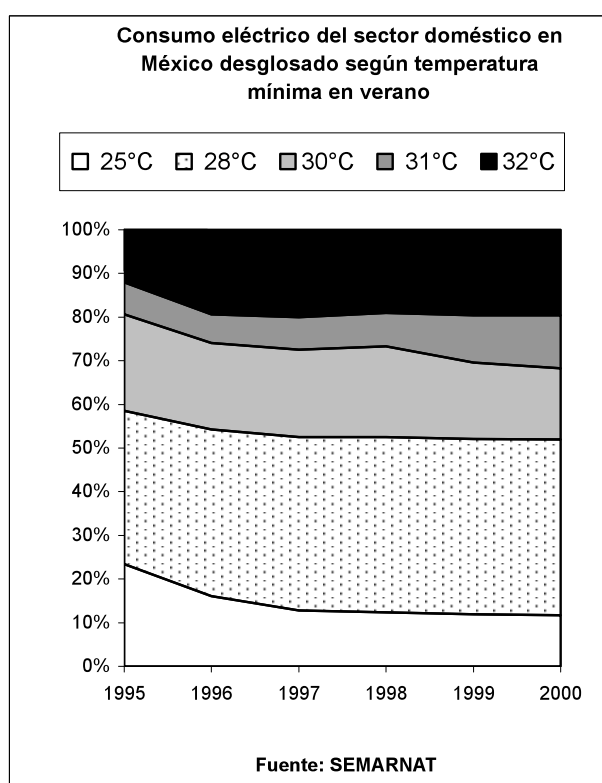


Figura 29: Fuente: SEMARNAT 2002

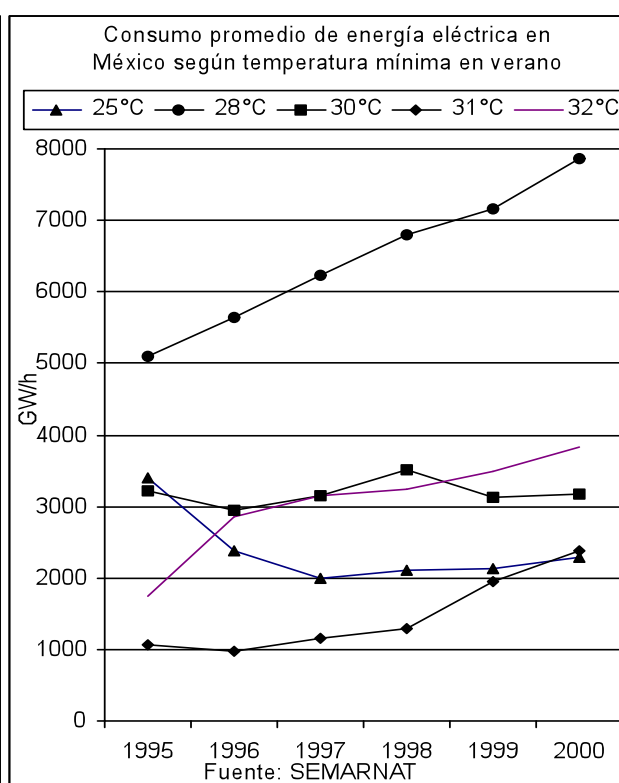


Figura 30: Fuente SEMARNAT 2002

El análisis del consumo eléctrico per cápita es otro indicador importante para conocer los gastos que puede ocasionar un clima adverso en el sector doméstico, para tal efecto se consideraron las estadísticas de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para el año 2002 y se ilustraron en el siguiente mapa.

La figura 31 divide al territorio nacional en cuatro grupos de estados de acuerdo a su consumo eléctrico anual por usuario en el sector doméstico.

Se puede apreciar en este mapa dos zonas que sobresalen en consumo eléctrico, la primera y más grande se ubican en el norte, donde predominan los climas cálido secos, la segunda zona es la península de Yucatán, donde predomina el clima cálido húmedo. Estos datos sugieren que los climas fríos no son los que generan mayor gasto energético, los consumos de energía son más bajos en el área central del país que es una de las zonas con menores problemas climáticos del país. Al igual que en el cálculo de los días-grado los climas cálido seco son más adversos que los cálido húmedo.



Figura 31: Consumo eléctrico doméstico por estados, 2002

4.1.5 RELACION ENTRE CONSUMO ELECTRICO Y PRODUCTO INTERNO BRUTO

Comparando la figura 31 con la figura 32 se puede apreciar una tendencia de los estados más ricos a gastar mayores cantidades de energía eléctrica. Sin embargo no en todos los casos este incremento en el consumo se debe a factores económicos que pudieran estimular un mayor consumo de energía. La fig. 33 muestra que no en todos los casos hay relación directa entre el elevado consumo y el mayor Producto Interno Bruto per cápita de los estados. El Distrito Federal es la entidad más rica del país y su consumo eléctrico per cápita se sitúa por debajo de la media

nacional mientras que Tabasco tiene un consumo eléctrico mayor al promedio nacional y un P.I.B. menor a la media.



Figura 32: P.I.B. per cápita por estados, 2000

Los estados que presentan los menores consumos suelen presentarse en regiones con valores de temperatura media anual bastante heterogéneos (Fig. 31) como los estados de la costa pacífico Sur, o bien se sitúan en el centro del país.

La conclusión de la comparación entre los consumos eléctricos y los niveles económicos es que los mayores gastos se presentan en las entidades federativas cuyo territorio pertenece mayoritariamente a los climas cálido seco y cálido húmedo y que este mayor consumo no depende forzosamente de su nivel de P.I.B.

El consumo energético doméstico de México es visiblemente mayor en los estados de la frontera Norte y en la península de Yucatán mientras que los que tienen menores gastos son los estados del centro y del Sur. En general se aprecia una relación entre las mayores temperaturas y los mayores consumos eléctricos. La principal zona en cuanto a extensión geográfica con altas

Los climas fríos generan menores consumos de energía eléctrica en el sector doméstico a pesar de que el estudio de los días-grado señala que suelen alejarse tanto de la zona de confort como los cálidos.



De acuerdo al análisis de la frecuencia con que se presenta cada clima y al consumo eléctrico que en ellos se produce se ha concluido que los climas que tienen prioridad a ser estudiados son:

- Cálido seco
- Cálido húmedo

Se constató que el clima cálido seco y el cálido húmedo, aunque en mayor medida el primero, son los que tienen mayor importancia geográfica por ser los que ocupan la extensión más grande del país. La importancia demográfica de estos mismos climas también quedó demostrada según los estudios de Figueroa y Fuentes donde la mayor cantidad de las ciudades importantes del país se ubican dentro del clima cálido húmedo que supera escasamente al número de casos del clima cálido seco. El último criterio utilizado de selección respecto al consumo eléctrico doméstico sugiere una tendencia hacia el mayor gasto per cápita en muchos de los estados donde predomina el clima cálido seco y en una proporción más moderada también para los estados donde predominan los cálidos húmedos.

4.3 SELECCION DE LAS CIUDADES DE ESTUDIO

Una vez definido los climas que se van a estudiar se requiere elegir una sola ciudad ya que el análisis climático debe ser meticuloso y no es recomendable proponer las mismas alteraciones de diseño a varias ciudades. La ciudad de análisis debe ser típica dentro de su clima, es importante no seleccionar ciudades respecto a su importancia demográfica puesto que se corre el riesgo de que el emplazamiento en cuestión se sitúe cerca de los límites de la demarcación climática y no sea un ejemplo representativo de su clima.

Los parámetros considerados para escoger una ciudad con valores «típicos» fueron los valores de temperaturas máximas y mínimas además de precipitación pluvial total anual. Se promediaron los parámetros de una lista de las ciudades más importantes del país de cada clima. El siguiente paso es la selección de una población que tenga los valores climáticos más parecidos al promedio y que además cuente con registros meteorológicos completos para los últimos 10 años.

4.3.1 CIUDAD DEL CLIMA CALIDO HUMEDO

El análisis para determinar los valores medios de este clima dentro de México abarcó a 50 ciudades en 15 estados del país. En la mayoría de los casos la localización de las ciudades es en el área Sur y Sureste del territorio nacional.

Las principales características de este clima son las altas temperaturas y la escasa oscilación térmica anual y diaria. Esta escasa oscilación es producto de la alta capacidad del agua para retener calor que aumenta el tiempo requerido para que el aire se enfríe o se caliente.

La temperatura de las ciudades importantes estudiadas de este clima al mes más cálido es de entre 26 y 31 °C con una temperatura media al mes más frío entre 18 y 26°C, por lo tanto la oscilación térmica a lo largo del año del promedio general de las ciudades a estudiar es inferior a los 10°C entre la media del mes más cálido y el mes más frío.

La población con valores más cercanos al promedio fue Acapulco cuya comparación con el grupo de ciudades se ilustra en las siguientes tablas:

Promedio general de 50 ciudades	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación total (mm)
	28°	21.5°	1482.57
Ciudad típica: Acapulco	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación total (mm)
	28.7°	26.1°	1411.9
Oscilación entre el mes más cálido y el más frío	Promedio de ciudades		6,7°
	Acapulco, Guerrero		2,6°

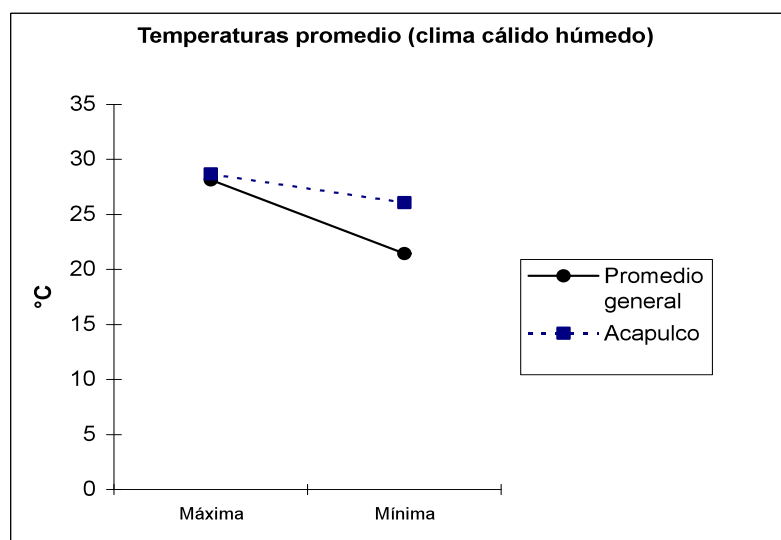


Figura 34: Temperaturas en ciudades de clima cálido húmedo

La precipitación pluvial elevada de estos climas tiene su cúspide en Pichucalco, Tabasco, donde se registran 4037 mm al año, sin embargo son pocas las ciudades que registran más 2000 mm al año. El promedio de las ciudades fue de 1482, bastante similar a los 1412 de Acapulco (Fig. 35). Las dos ciudades que más se acercaron a los valores promedio fueron Veracruz, Ver. y Acapulco, Guerrero, la primera tenía una pequeña diferencia respecto a precipitación pluvial y la segunda respecto a temperatura mínima. Esta circunstancia hace tener una oscilación térmica menor que la primera. En virtud de que la principal característica de este clima es la estabilidad de las temperaturas se decidió trabajar con la segunda, la ciudad elegida fue: **Acapulco, Guerrero**

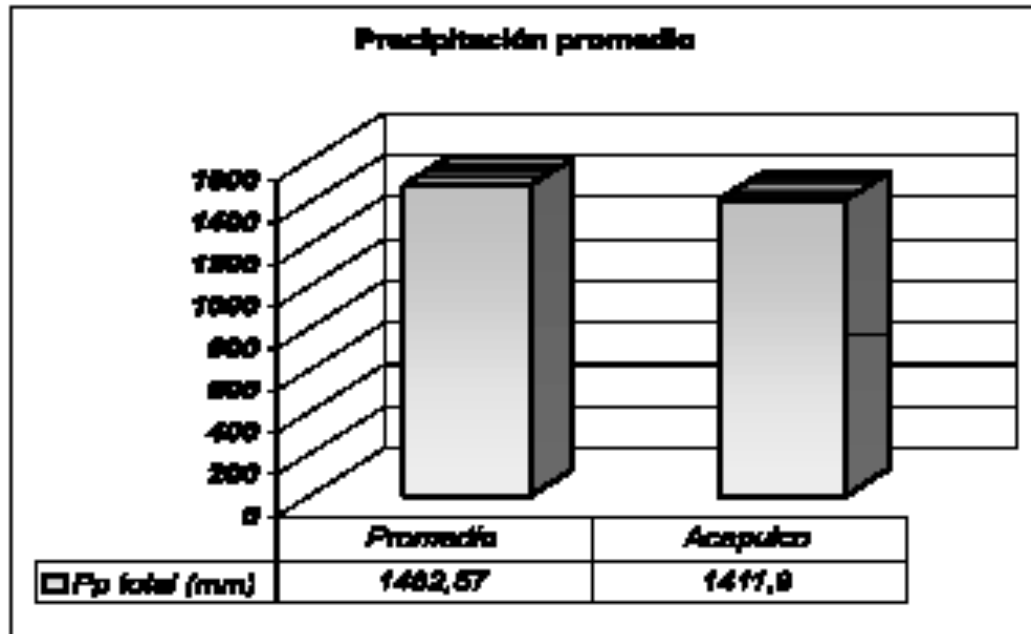


Figura 35: Precipitación pluvial en ciudades de clima cálido-húmedo

4.3.2 CIUDAD REPRESENTATIVA DEL CLIMA CALIDO SECO

En este caso la selección abarcó a 26 ciudades en 7 estados del país, si bien este clima comprende una extensión geográfica mucho mayor, su densidad de población es baja.

La mayoría de las ciudades que presentan este clima se encuentran en los estados del Norte. Se presentan temperaturas medias al mes más cálido de entre 26 y 32 °C con una temperatura mínima entre 13 y 22 °C. Este clima árido presenta una gran oscilación térmica y las ciudades que tienen diferencias mayores entre los meses más calurosos y secos superan los 14°C. La ciudad más representativa de la oscilación anual es Navojoa que tiene una diferencia de 14.5 °C de temperatura media entre los meses más contrastantes. La oscilación entre las cifras medias de todos los meses tiene un promedio nacional de 11.5 °C.

El promedio de la precipitación es de 417 mm teniendo este rubro grandes diferencias, Puerto Cortes tiene tan solo 31.8mm anuales.

La ciudad con valores más cercanos al promedio fueron Topolobampo, Sonora (29°C máxima, 17.6°C mínima y 245 mm) y La Paz, Baja California Sur, (29.7 máxima, 17.9 mínima y 204 mm). La comparación de La Paz con el grupo de ciudades se puede ilustrar mediante las siguientes tablas y gráficas:

Promedio general de 26 ciudades	Temperatura máxima 29,1°	Temperatura mínima 17,6°	Precitación total (mm) 417
Ciudad típica: La Paz	Temperatura máxima 29,7	Temperatura mínima 17,9	Precitación total (mm) 204,6
Oscilación entre el mes más cálido y el más frío	Promedio de ciudades		11,5°
	La Paz, B.C.S.		11,8°

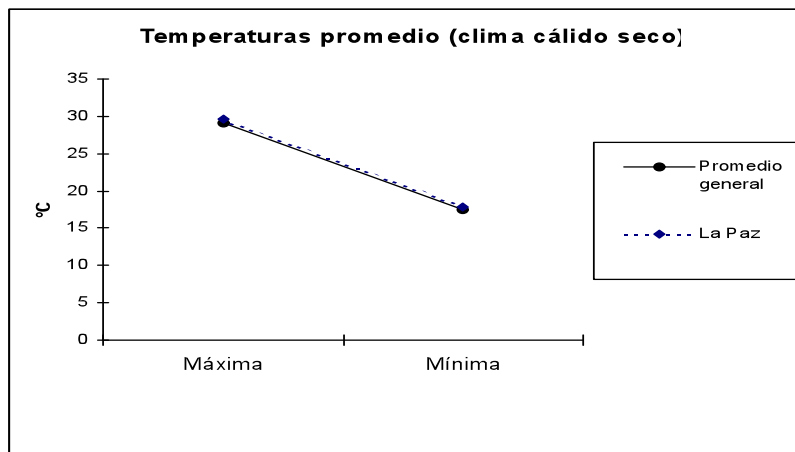


Figura 36: Temperaturas en ciudades de clima cálido seco

Los valores de las ciudades en cuanto a temperatura fueron bastante similares mientras que en cuanto a precipitación pluvial se registraron valores menores. La lluvia estas ciudades es menor al promedio de las ciudades, sin embargo a nivel global los 200 mm de diferencia es una cifra bastante moderada.

Las dos ciudades citadas tienen valores bastante similares pero se decidió trabajar con la ciudad de mayor crecimiento, por lo cual la localidad seleccionada es: **La Paz, Baja California Sur**

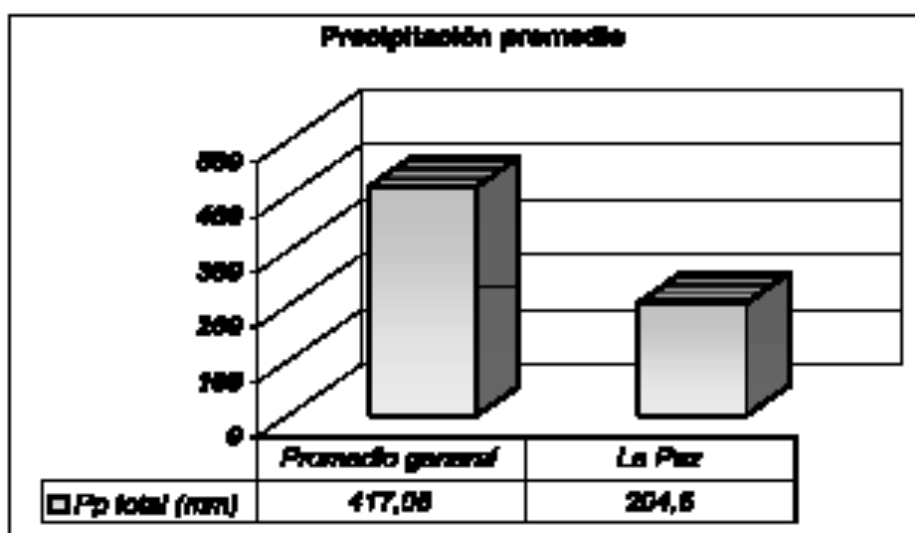


Figura 37: Precipitación pluvial en ciudades de clima cálido seco

CAPITULO V

DIAGNOSTICO DEL CASO CALIDO HUMEDO

5.1 INTRODUCCION A LA CIUDAD DE ACAPULCO

Es la ciudad más poblada de su estado (800,000 habitantes), las principales actividades económicas de esta población son el turismo y el comercio, esta última ha estado presente desde el siglo XVI cuando se comenzó a explotar la ruta comercial entre Europa y Asia vía América. Acapulco es una ciudad costera (fig 43) de rápido crecimiento con una doble imagen, alrededor de la curva de 11 km que describe la bahía se pueden observar bellas playas, hoteles de cinco estrellas, discotecas de lujo, plazas con aire acondicionado y restaurantes con menús trilingües (Español, Francés e Inglés). Sin embargo tierra adentro se encuentra otro centro comercial con aceras saturadas de gente y calles invadidas por caos vial. Esta zona refleja con mayor fidelidad la realidad económica de su estado, el 5° con menor producto interno bruto per cápita del país.

El nombre de Acapulco proviene de la lengua Náhuatl y significa «lugar donde crece la caña» o «lugar de cañas gigantes», los descubrimientos arqueológicos han demostrado que la bahía de Acapulco y Puerto Marqués habían sido habitados 2000 años antes de la llegada de los europeos. Los españoles descubrieron esta bahía en 1512 y desde entonces empezó la construcción de naves y la explotación del puerto cuya bahía hacía las veces de muelle natural.

Acapulco se convirtió en el único puerto del nuevo mundo autorizado a recibir Naos de China y de las Filipinas. En el siglo XVII floreció el comercio con Asia y con ello los saqueos de piratas ingleses y holandeses, por ello se construyó el fuerte de San Diego en lo alto de una colina que domina la bahía y al parecer fue efectivo ya que las Naos continuaron en función hasta principios del siglo XIX.



Figura 38: Playa de Acapulco

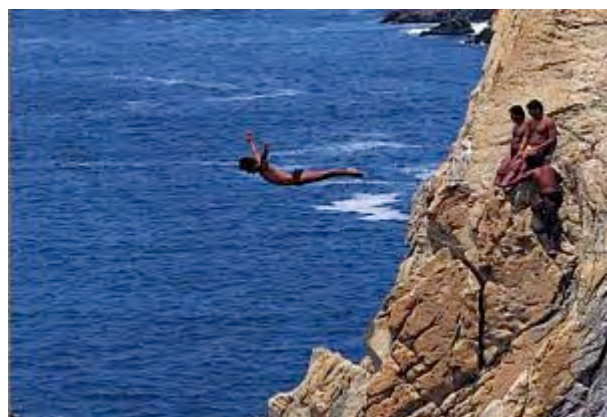


Figura 39: La Quebrada Fotos: Acapulco.com

Cuando México se independizó el comercio con España y sus demás ex colonias disminuyó y consecuentemente la importancia comercial de la ciudad. El puerto se mantuvo relativamente aislado hasta 1927 año en que se construyó una carretera asfaltada hacia la capital. El auge económico de la ciudad de México estimuló la llegada de turistas, poco después se construyó un aeropuerto internacional, se filmaron varias películas de Hollywood y para los años cincuenta ya era considerado como un centro vacacional del jet-set. A últimas fechas el prestigio turístico de la bahía ha disminuido por el aumento de la contaminación del mar y por el desarrollo de otros destinos de playa en el resto del país.



Fig. 40: Ubicación geográfica de Acapulco

Clima de la región donde se encuentra Acapulco

La ubicación geográfica de esta población es de 16.50° de latitud, 99.56° de longitud y una altura media sobre el nivel del mar de 3 metros, según Enriqueta García pertenece al grupo climático Aw, o sea de que es una sabana tropical con estación seca muy marcada con al menos un mes de pluviosidad menor a los 6cms.

Las condiciones climáticas de esta ciudad son muy comunes en el estado de Guerrero (fig 41) donde toda la franja costera presenta un clima cálido húmedo con lluvias en verano. La principal característica de esta región es su alta temperatura constante a lo largo de todo el año incluso en época de lluvias, esta situación ha sido favorable para el desarrollo turístico en playa. Se cuenta con dos importantes centros de gran turismo, Acapulco y Zihuatanejo. Además hay innumerables playas en todo el estado de Guerrero con modestas instalaciones para el «turismo alternativo».



Figura 41: Mapa de climas del estado de Guerrero (Fuente: INEGI)

5.2 DATOS CLIMATICOS DE ACAPULCO

Los datos normalizados fueron proporcionados por el SMN sobre el periodo de los años comprendidos entre 1940 y 1970, los demás datos fueron proporcionados por esta institución fueron transcritos de las bitácoras escritas en el observatorio local. El procesamiento de los datos se realizó de la siguiente manera:

La recopilación de datos en el observatorio consideró los siguientes parámetros:

- Temperatura
- Humedad relativa
- Vientos

El horario tomado en cuenta fue entre las 7:00 y las 18:00 hrs del tiempo local puesto que es el lapso de los horarios habituales de clases en las primarias y además es cuando se percibe radiación solar, una de las principales fuentes de calor.

No se consideró ninguna modificación respecto al horario de verano que se aplicó en más de la mitad del periodo estudiado debido a que el horario de las mediciones se ha mantenido inalterado para efectos de la estadística meteorológica.

Los datos de las ciudades proporcionados por los observatorios tenían muy pocos faltantes de información que rara vez rebasaban las 2 horas por día.

Para la ciudad de Acapulco se estudiaron los datos desde 1991 hasta 2000. Los datos fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en sus instalaciones del observatorio de la ciudad de México.

5.2.1 DATOS NORMALIZADOS (FIGURA 42)

Los valores de temperatura y humedad son muy constantes a lo largo del año, las altas temperaturas se mantienen constantes y no se observa presencia de granizo ni de nieve, el fenómeno de niebla es poco frecuente. En todos los meses la máxima promedio es igual o superior a los 31°C. El nivel de precipitación de esta ciudad lo ubica dentro de la categoría de los climas húmedos, por estar encima de los 1000 mm anuales, de los 4 meses con más lluvia 2 coinciden con el periodo de vacaciones. Todos los meses tiene altos niveles de humedad relativa y son escasamente influidos por las temporadas de lluvias, los dos valores medios de humedad relativa extremos tienen solo un 4% de diferencia.

Los días completamente despejados entre Junio y Septiembre son inferiores a 3 por mes, en este mismo periodo los nublados igualan o superan los 15 días. Entre Diciembre y Abril se observa cielo despejado en más de 20 días al mes.

NORMALES DE CLIMA ACAPULCO, GRO.						Latitud	Longitud	Altitud	Periodo estudiado:	
						16-50	99-56	28 msnm	1941-1970	

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Vacaciones	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
Máxima extrema	36,0	35,8	37,6	37,0	40,5	37,5		36,8	37,0	37,0	35,8	40,5
Fecha (día / año)	18/52	18/52	20/51	VS/52	26/52	VS/VS		07/52	24/51	19/51	14/51	26/05/52
Máxima promedio	31,0	31,0	31,0	31,3	32,2	32,4		32,2	32,2	32,0	31,2	31,9
Bulbo seco	26,5	26,6	26,8	27,4	28,7	28,7		28,2	28,3	27,8	26,9	27,8
Mínima promedio	22,4	22,3	22,4	22,9	24,7	25,0		24,6	24,5	23,8	22,7	23,8
Mínima extrema	17,3	16,5	15,8	18,0	18,9	20,4		20,0	20,5	19,5	17,0	15,8
Fecha (día / año)	23/65	13/68	13/68	VS/70	05/66	08/68		12/67	VS/VS	30/70	26/64	13/03/68
Oscilación	8,6	8,7	8,6	8,4	7,5	7,4		7,6	7,7	8,2	8,5	8,1

Humedad

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Vacaciones	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
Tem. Bulbo húmedo	23,1	23,1	23,3	23,9	25,0	25,4		25,2	25,3	24,7	23,7	24,5
Hum. relativa media	75	74	74	75	74	76		78	78	76	76	75,7
Evaporac total	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Tensión med vap	26,0	26,5	26,1	26,5	29,1	29,8		30,0	30,4	29,1	26,7	28,4

Precipitación

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Vacaciones	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
Total	8,6	0,9	0,9	2,5	29,4	266,9		386,7	162,6	49,6	7,8	1411,1
Máxima	134,5	24,5	20,0	44,6	187,4	470,8		798,2	433,1	568,4	52,0	885,5
Fecha (año)	58	41	69	66	56	44		67	46	61	58	07/55
Máx mes/24 hrs.	43,9	23,0	20,0	38,6	82,0	184,0		234,5	245,8	224,1	50,0	245,8
Fecha (día/año)	11/58	05/41	17/69	03/66	30/46	17/65		17/57	06/46	04/58	13/58	06/10/46
Máxima 1 hora	22	23	0,9	26,6	52	70		55,5	50	45	22	85,4
Fecha (día/año)	11/58	05/41	21/41	03/66	30/46	VS/VS		21/48	15/53	09/46	10/57	13/07/41
Mínima	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	71,3		106,9	11,0	0,3	0,5	0,3
Fecha (año)	47,0	69,0	411,0	62,0	45,0	41,0		59,0	63,0	68,0	55,0	111/68
Tot horas sol	242,2	230,3	245,5	191,8	192,0	194,2		175,5	210,9	240,4	238,7	2582,8
Visibilidad dominante	6	6	6	6	6	6		6	6	6	6	6

Frecuencia de elementos y fenómenos especiales

cifras en # días	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Vacaciones	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
Lluvia apreciable	1,03	0,20	0,10	0,26	2,40	13,03		16,00	8,13	2,33	0,83	70,6
Lluvia inapreciable	0,82	0,43	0,23	0,50	1,63	3,37		3,90	3,46	1,06	1,03	24,6
Despejados	21,72	22,13	25,63	20,20	15,13	2,90		2,06	7,93	17,33	20,43	160,6
Medio nublados	7,00	4,96	4,36	7,26	10,73	12,10		10,63	12,20	9,70	7,53	111,4
Nublado/cerrado	2,27	1,13	1,00	2,53	5,13	15,00		17,30	10,86	2,96	3,03	93,2
Rocío	1,32	2,24	2,37	2,40	0,00	0,00		0,21	0,00	0,00	1,22	9,8
Granizo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tempestad eléctrica	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,31		0,36	0,13	0,03	0,00	0,2
Niebla	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,2

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.)

Figura 42: Normales climatológicas de Acapulco (1941-1970)

5.2.2 TEMPERATURA HORARIA BULBO SECO DE ACAPULCO, 1991-2000 (FIG 43)

El gran contenido de humedad en el ambiente hace que Acapulco tenga muy poca fluctuación de temperaturas entre las diversas horas del día y los meses del año.

Las casillas que carecen de sombreado representan los casos en que la temperatura al aire libre es considerada confortable, las ocasiones en que el sombreado es gris se refiere a situaciones de frío, y el sombreado negro es para los casos de calor, cada color representa intervalos térmicos de 5°C, la presencia de tan solo 3 intervalos de temperatura nos da una idea de la estabilidad térmica de esta ciudad.

Temperatura media anual		27.6 °C		Temperatura (°C)		Color
Temperatura neutra		26.20 °C		de 28.8	a 33.7	
Zona de confort según Auliciems		entre 23.7 y 28.7 °C		de 23.7	a 28.7	
				de 18.7	a 23.6	

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Periodo vacacional: Julio y Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	23.6	23.9	23.6	24.1	26.3	26.5		25.9	26.5	25.4	24.2
2	23.4	23.5	23.1	23.5	26.1	26.4		25.7	26.3	25.0	23.8
3	23.1	23.1	22.7	23.2	25.6	26.2		25.6	26.1	25.0	23.7
4	22.8	22.8	22.2	23.0	25.7	26.0		25.3	25.8	24.6	23.4
5	22.6	22.5	21.9	22.8	25.5	25.9		25.1	25.5	24.4	23.1
6	22.2	22.3	21.5	22.4	25.4	25.7		25	25.2	24.6	22.8
7	22.3	22.7	22.0	23.5	26.5	26.0		25.2	25.9	24.7	23.3
8	23.1	23.5	23.1	25.4	27.7	26.9		26.1	26.8	25.6	24.6
9	24.4	24.3	25.0	27.4	29.1	27.5		27.2	28.1	26.8	25.6
10	26.7	27.2	28.1	29.3	31.1	28.7		28.9	29.7	28.5	27.1
11	28.8	29.6	29.9	30.8	32.0	30.4		30.2	31.1	30.3	29.1
12	30.2	30.7	30.2	31.0	32.2	31.0		31.1	31.6	31.4	30.4
13	30.5	30.7	30.5	31.3	32.2	31.2		31.8	32.4	31.8	31.4
14	30.7	30.9	30.7	31.5	32.4	31.5		31.7	32.3	31.3	31.3
15	30.3	30.7	30.5	30.9	32.4	31.0		31.6	31.7	31.2	30.7
16	29.7	30.4	29.9	30.9	31.8	30.5		31.3	31.2	30.4	30.1
17	28.9	29.6	29.2	30.1	31.2	30.1		30.8	30.3	29.7	29.4
18	28.0	28.9	28.6	29.4	30.5	29.3		29.8	29.4	28.9	28.5
19	27.0	27.4	27.3	28.2	29.1	28.7		28.7	28.2	28.0	27.3
20	26.4	26.6	26.5	27.2	28.3	28.0		28.1	27.7	27.3	26.4
21	25.2	25.9	25.6	28.4	27.8	27.6		27.6	27.4	26.6	25.6
22	24.2	25.4	25.0	25.9	27.5	27.2		27.2	27.0	26.4	25.1
23	24.4	24.8	24.4	25.3	27.5	27.2		26.7	26.8	26.0	24.8
24	23.9	24.2	24.3	24.8	27.2	26.7		26.6	26.6	25.7	24.6

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.)

Figura 43: Temperaturas horarias en Acapulco (1991-2000)

La temperatura de la ciudad de Acapulco es elevada la mayor parte del año, únicamente 4 meses, desde Diciembre hasta Abril se observan temperaturas por debajo de los 23 °C. Esta situación se aprecia solamente en las últimas horas de la madrugada y las primeras del día. Las temperaturas máximas diarias se sitúan fuera del área de confort local durante todos los meses del año. En general se puede decir que casi siempre entre las 11:00 y 17:00 hrs cuando tiene lugar gran parte de la actividad docente se perciben temperaturas por encima de la zona de confort. Una vez que se alcanzan las temperaturas elevadas, entre las 10 y las 11 de la mañana, suelen mantenerse relativamente estables a lo largo del día por la alta humedad relativa.

La temperatura tiene ligeras variaciones a lo largo del año (fig. 44), temperatura media anual: 27.8°C, temperatura máxima anual: 33.0 °C (Agosto), temperatura mínima anual: 22.8 °C (Febrero).

Las trayectorias que describen las tres representaciones gráficas de temperatura son prácticamente paralelas en todo el año.

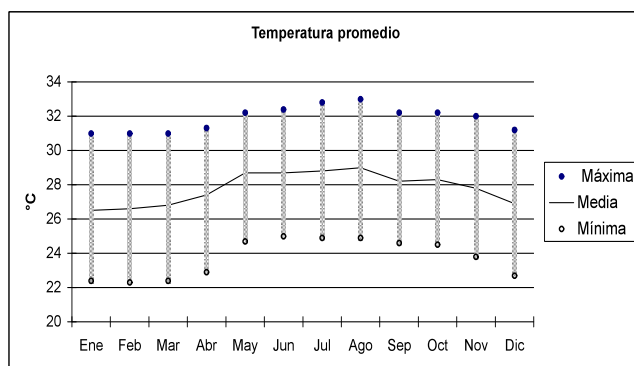


Figura 44: Temperaturas medias en Acapulco

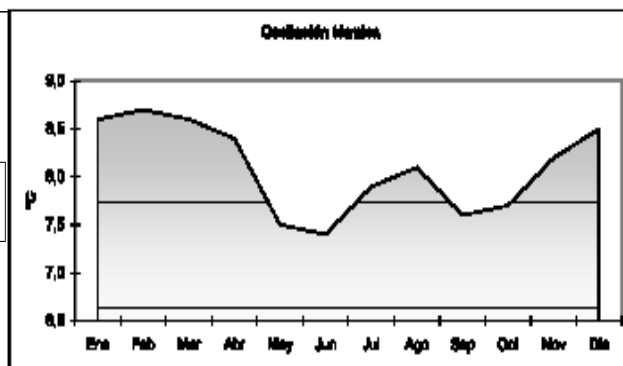


Figura 45: Oscilación térmica en Acapulco

La oscilación térmica anual y diaria tiene niveles muy bajos en este clima y su nivel máximo es en Febrero, donde alcanza 8.7 °C mientras que la menor es en Junio, con 7.4 °C.

Los meses que tienen las oscilaciones térmicas menos significativas son los más cálidos (fig. 45). En este clima el problema es de sobrecalentamiento todo el año y las horas con sol.

5.2.3 HUMEDAD RELATIVA HORARIA EN ACAPULCO, 1991-2000 (FIG 46)

Es poco frecuente que se presenten condiciones de confort higrotérmico óptimo en Acapulco, las situaciones de humedad relativa inferior al 60 % son muy escasas.

Las casillas sin sombreado son las únicas dos ocasiones en que la humedad relativa del ambiente se encuentra en niveles óptimos, el color gris es para los niveles de humedad alta pero dentro de niveles fácilmente tolerables mientras que las casillas de sombreado negro representa niveles de humedad incómodos aunque según Givoni con una adecuada ventilación la humedad relativa puede ser tolerada hasta un nivel de 90%.

Humedad relativa media anual 75.6 %							Rangos de humedad relativa medidos en porcentaje (%)		Color
Zona de confort entre 40 y 60%							de 81 a 100		
							de 61 de 80		
							de 40 de 60		

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Periodo vacacional: Julio y Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	88	87	85	88	88	88		90	90	89	88
2	89	87	87	88	88	88		90	91	90	89
3	88	88	88	88	88	89		91	91	90	89
4	88	86	90	88	89	89		91	92	90	90
5	89	88	90	88	89	89		92	91	91	90
6	89	87	91	88	89	89		91	91	91	90
7	89	86	88	86	86	90		91	90	89	85
8	85	83	83	79	81	86		88	87	87	85
9	78	79	75	71	77	82		83	81	83	81
10	71	69	67	63	67	79		78	74	77	75
11	65	63	62	60	64	71		73	68	69	68
12	61	61	63	62	64	71		71	66	64	64
13	64	64	64	63	66	70		67	66	64	63
14	63	63	64	60	67	70		68	68	67	63
15	65	64	65	63	66	73		69	69	68	66
16	67	65	68	63	67	74		69	71	71	67
17	68	68	69	68	70	75		72	74	73	70
18	72	69	72	72	71	77		75	78	75	73
19	76	74	77	75	77	80		81	82	79	79
20	79	79	80	78	80	82		83	85	82	82
21	81	81	82	80	83	86		86	87	85	85
22	85	82	83	83	83	87		88	88	87	86
23	86	84	85	85	84	87		90	89	89	88
24	86	87	85	85	85	88		89	90	89	87

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Figura 46: Valores de humedad relativa en Acapulco (1991-2000)

Humedad relativa: la escasa oscilación térmica de este clima deriva de la alta concentración de humedad relativa en el ambiente. La humedad media anual es de 75.7%, los valores más altos son para los meses de Septiembre y Octubre de 78%, cifra particularmente alta si se considera que los límites más flexibles de tolerancia a la humedad son del 80% para situarse dentro la zona de confort. Además de estos valores máximos anuales hay que considerar que a lo largo del año esta alta humedad se conserva bastante constante (figura 47), los tres meses con menor humedad relativa media mensual son Febrero, Marzo y Mayo donde la humedad media apenas se reduce a un 74%.

La cercanía con la costa es la responsable de la homogeneidad anual de los valores de humedad relativa. Las épocas de mayor precipitación pluvial y de mayor humedad en el ambiente no coinciden en ningún caso.

El factor de la alta humedad relativa tiene dos principales repercusiones negativas, una con respecto al confort humano y la otra con respecto a las estrategias bioclimáticas de enfriamiento y se considera que no viable en ningún mes la disminución de temperatura mediante la humidificación del ambiente.

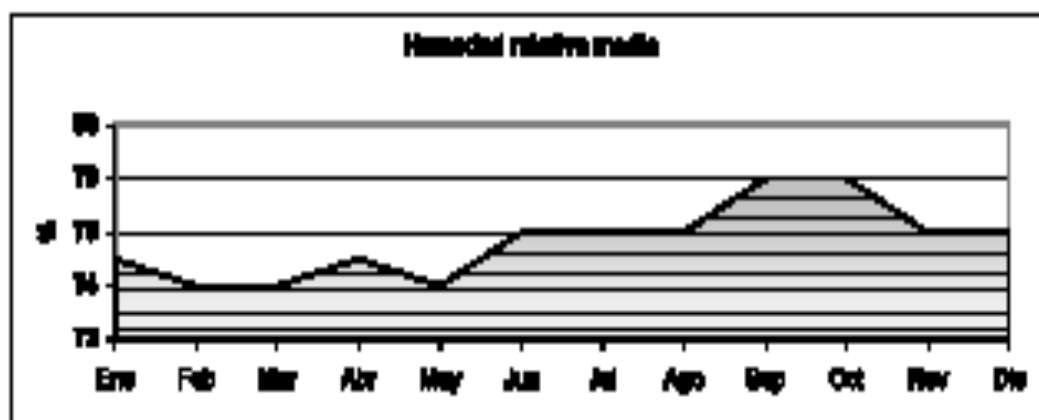


Figura 47: Humedad en Acapulco Fuente: S.M.N. (1941-1970)

5.2.4 PRECIPITACION Y NUBOSIDAD EN ACAPULCO

La precipitación anual (Figura 48) es de 1411 mm que lo ubica dentro de la categoría de los climas húmedos por estar encima de los 1000 mm anuales. La temporada de lluvias es de Junio a Octubre, siendo Septiembre el mes con mayor precipitación, 386.7 mm., este lapso coincide con el verano, sin embargo al cotejar los datos estadísticos de las temperaturas y las lluvias a lo largo del año se puede concluir que estas últimas no ayudan a disminuir de manera clara las altas

temperaturas ya que los meses con más lluvia y por ende de más nublados coinciden con los de mayores temperaturas, esta situación impide que se pueda considerar que la lluvia ayude a disminuir el calor.

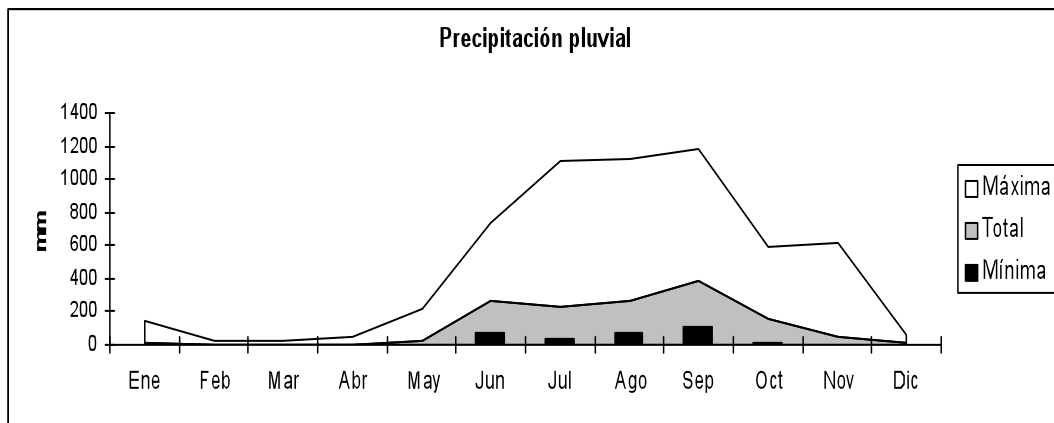


Figura 48: Precipitación pluvial en Acapulco, Fuente: S.M.N. (1941-1970)

Nubosidad (figura 49)

Los días despejados al año ascienden a 160, los semi-nublados son 111 y los nublados se aprecian en 93 días. Las ocasiones de días completamente despejados entre Junio y Septiembre no llegan siquiera a 3 por mes. En este mismo periodo los nublados igualan o superan los 15 días. Los meses con menos nublados son de Diciembre a Abril donde está despejado más de 20 días al mes. Las temporadas que presentan mayor cantidad de nublados son precisamente los meses más cálidos, lo cual demuestra que la disposición de sistemas de control solar (volados y parteluces) tendrían poca eficiencia para bajar los niveles de calor en verano.

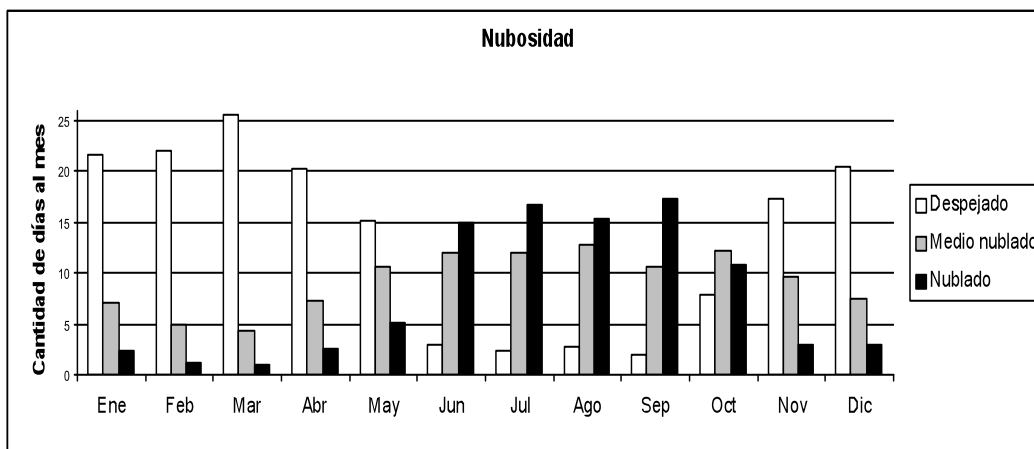


Figura 49: Nubosidad en Acapulco Fuente: S.M.N. (1941-1970)

5.2.5 RADIACION SOLAR EN ACAPULCO (FIGURA 50)

La radiación solar de esta ciudad no alcanza los 1000 Watts al día. La intensidad de radiación es disminuida por la humedad relativa del ambiente que actúa como filtro, la temporada de lluvias también contribuye a esta disminución, los meses con mayor cantidad de nublados tienen menor intensidad de radiación. Esta ciudad presenta una intensidad de radiación bastante constante a lo largo del año. Los meses con mayor temperatura media tienden a ser los de menor intensidad de radiación. El tiempo de insolación total anual es de 2150 hrs. Los meses que presentan las mayor cantidad de tiempo de insolación son Noviembre, Diciembre y Enero, alrededor de 240 hrs. El mes con menor tiempo de insolación es Septiembre con 175 hrs. Los valores mensuales de radiación son los siguientes:

Watts / m2												
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
695	781	825	760	700	641	669	700	664	721	725	684	714

Fuente: Fernández Zaya y Estrada Cajigal

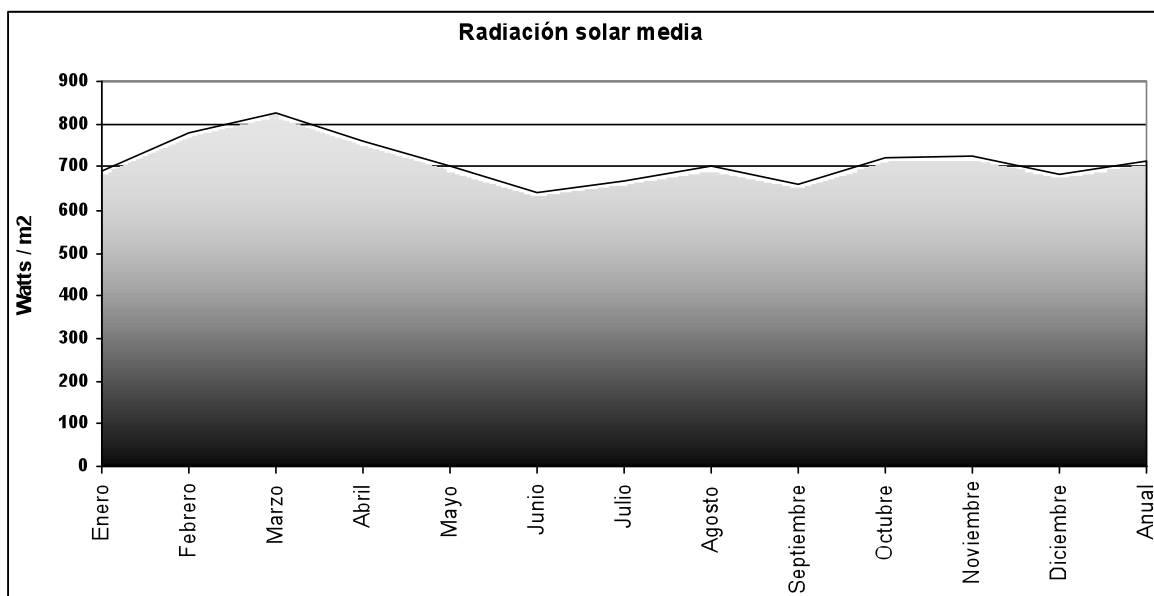


Figura 50: Insolación en Acapulco, Fernández y Estrada, 1980

5.2.6 VIENTO EN ACAPULCO, 1991-2000 (FIG 51)

Los dos vientos que tienen mayor incidencia son el Oeste y el Norte con horarios bastante bien definidos, los vientos del Norte se presentan casi siempre en las primeras horas de la mañana, desde la siete hasta las diez o incluso once de la mañana. Los vientos que se presentan la mayor parte del resto del día son los Oeste (W), que además de superar en frecuencia también suelen superar claramente en velocidad a los vientos de Norte (Ver detalle de vientos en el apéndice).

Lapso	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
7-8	Norte 1,3	Norte 1,4	Norte 1,1	Norte 1,2	Norte 1,3
8-9	Norte 1,6	Norte 1,7	Norte 1,5	Norte 1,1	Norte 1,9
9-10	Norte 1,5	Norte 1,7	Norte 1,5	Norte 1,1	Norte 1,8
10-11	Norte 1,3	Norte 1,9	NW 2,4	SW 1,7	Oeste 3,6
11-12	NNE 3,9	Oeste 2,7	Oeste 2,6	Oeste 3,3	Oeste 5,6
12-13	Oeste 3,0	Oeste 3,5	Oeste 3,5	WSW 3,6	Oeste 5,0
13-14	WSW 4,5	Oeste 4,4	Oeste 3,9	Oeste 5,7	Oeste 5,7
14-15	Oeste 4,3	Oeste 4,1	Oeste 4,8	Oeste 5,5	Oeste 6,3
15-16	Oeste 4,6	Oeste 4,3	Oeste 5,2	Oeste 5,8	Oeste 5,8
16-17	SW 4,1	Oeste 4,1	Oeste 5,5	Oeste 4,6	Oeste 5,6
17-18	Oeste 4,9	Oeste 4,4	Oeste 5,5	Oeste 5,0	Oeste 5,5
18-19	Oeste 4,3	Oeste 4,1	Oeste 5,1	Oeste 4,5	Oeste 5,4
Horas	Vel media 3,3 m/s	Vel media 3,2 m/s	Vel media 3,6 m/s	Vel media 3,6 m/s	Vel media 4,5 m/s

Lapso	JUNIO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
7-8	NNE 2,4	Norte 2,1	Norte 1,5	Norte 1,6	Norte 1,3
8-9	NNE 2,1	Norte 1,4	Norte 1,5	Norte 1,7	Norte 1,5
9-10	ENE 4,7	Norte 1,9	Norte 1,9	Norte 2,0	Norte 1,4
10-11	ENE 3,9	NE 2,7	Norte 1,7	Norte 1,9	Norte 1,7
11-12	Norte 3,1	SW 3,1	Norte 2,4	Norte 1,3	Norte 2,0
12-13	SW 2,3	Oeste 3,4	Oeste 3,0	WSW 3,7	SSW 2,0
13-14	SW 3,0	Oeste 4,0	Oeste 3,6	WSW 4,4	Oeste 3,5
14-15	SE 2,9	Oeste 4,4	WNW 4,4	SW 6,0	WSW 4,8
15-16	SSE 4,6	Oeste 3,5	WSW 5,2	Oeste 3,9	Oeste 3,5
16-17	SSE 5,0	Oeste 3,6	Oeste 4,3	Oeste 4,2	WSW 3,6
17-18	Oeste 3,5	Oeste 3,6	Oeste 4,1	Oeste 3,7	Oeste 3,2
18-19	Oeste 3,4	Oeste 3,1	Oeste 4,2	Oeste 3,1	Oeste 2,8
Horas	Vel media 3,4 m/s	Vel media 3,1 m/s	Vel media 3,2 m/s	Vel media 3,1 m/s	Vel media 2,6 m/s

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Figura 51: Vientos horarios en Acapulco, (1991-2000)

Los datos de viento de los casos de estudio fueron tomados de las mismas horas que los datos de temperatura con la finalidad de conocer las orientaciones con mayor incidencia de viento en las diferentes horas del día.

Para las ciudades elegidas en este trabajo resulta de gran importancia el estudio del viento en las diferentes épocas del año ya que la ventilación es una de las principales herramientas de acondicionamiento bioclimático en espacios habitables donde una de las mayores fuentes de sobrecalentamiento es la ganancia interna producto del metabolismo de los usuarios. El diseño eficiente de las aulas deberá garantizar la viabilidad de la ventilación cruzada en la mayor parte de los horarios en que se observen altas temperaturas.

En esta tabla general de vientos se pueden distinguir dos direcciones predominantes del viento que tienen un horario bastante definido, las primeras horas del día y hasta las 11 horas se tiene una mayor incidencia de vientos desde el Norte, el resto del día se mantienen constantes los vientos desde el Oeste o direcciones próximas al mismo. El único mes con ligera variación es Junio, mes donde disminuye la actividad docente, por lo que se pueden considerar uniformes a lo largo del año las condiciones ya descritas.

Después de conocer la información de vientos y las dimensiones y orientaciones de las actuales ventanas se calcula la temperatura interior con la ventilación actual y se proponen nuevas orientaciones del aula que puedan mejorar la ventilación actual.

Se puede observar que los vientos no son favorables para la actual orientación de las aulas ya que las ventanas de estas están orientadas hacia el Sur y hacia el norte por lo que solo pueden captar el viento de manera efectiva en las primeras horas del día cuando menos hacen falta por ser las horas menos cálidas del día, después de las 11 horas el viento viene desde el Oeste lo cual hace que pase de manera paralela a las ventanas y que la cantidad de aire que entre a las ventanas sea mínima.

5.3 EVALUACIONES EN ACAPULCO

5.3.1 CARTA PSICROMETRICA (FIGURA 52)

El trazo de la carta psicrométrica incluyó la delimitación del área donde es posible ventilar para mejorar las condiciones de confort. Esta zona es una de las que más resaltan gráficamente por ser la ventilación natural la principal estrategia de acondicionamiento bioclimático para este clima. Esta área calculada por Givoni (1994) comprende una zona que no forzosamente es de confort absoluto pero si es donde la ventilación puede ser eficiente para disipar el calor. Esta zona se sitúa entre los 20 y los 32 grados centígrados, respecto a la humedad relativa el límite de tolerancia es de un 90%, aunque el mismo Givoni (1994) señala que la ventilación puede ser utilizada en toda ocasión que sea benéfica psicológicamente.

En esta gráfica se trazaron las trayectorias de valores higrotérmicos de los 10 meses con actividad escolar. Es notoria la cercanía entre sí de todas las trayectorias en general y en particular la definición de dos grupos de líneas bastante similares entre sí. El primer conjunto es el de los meses de Diciembre hasta Abril y es el que tiene los valores más semejantes.

Diciembre – Abril: Los valores se sitúan durante la casi todo el día dentro de la zona susceptible de aprovechar la ventilación, únicamente las primeras horas del día deja de ser recomendable la ventilación debido a la alta humedad relativa y no a altos valores de temperatura. Sin embargo, en estas primeras horas del día el aula aún no ha sido ocupada o es cuando apenas han entrado a clase los alumnos y la ganancia térmica interna apenas empieza a acumularse. Se considera que para estos meses el uso de ventilación natural como medio de control de temperatura es factible.

El segundo grupo de meses es de Mayo a Noviembre, estos meses describen trayectorias más distantes entre sí que el grupo anterior pero la característica común que tienen todos estos meses es que tanto a las horas más frías como a las más cálidas se encuentran fuera del área que puede ser ventilada eficazmente. En ambos casos el problema es que los valores exceden los límites de humedad relativa aunque no se exceda la temperatura máxima recomendada. De cualquier forma la hora en que no se debe ventilar debido a la alta temperatura exterior tiende a coincidir con la hora en la que no hay clases debido al intervalo entre el cambio de turnos, que es a las tres de la tarde.

El mes más conflictivo es Junio donde si bien los valores a lo largo del día no entran dentro de la zona de ventilación su separación de los niveles de confort es escasa y este mes es el último clases y su ocupación no es completa a lo largo del mismo.

Según la interpretación de la gráfica psicrométrica se puede concluir que para la mitad del año la ventilación natural es un recurso óptimo mientras que para la parte más cálida del año es un recurso aceptable porque las horas y el mes más conflictivos coinciden con la menor, o incluso nula, ocupación de aulas.

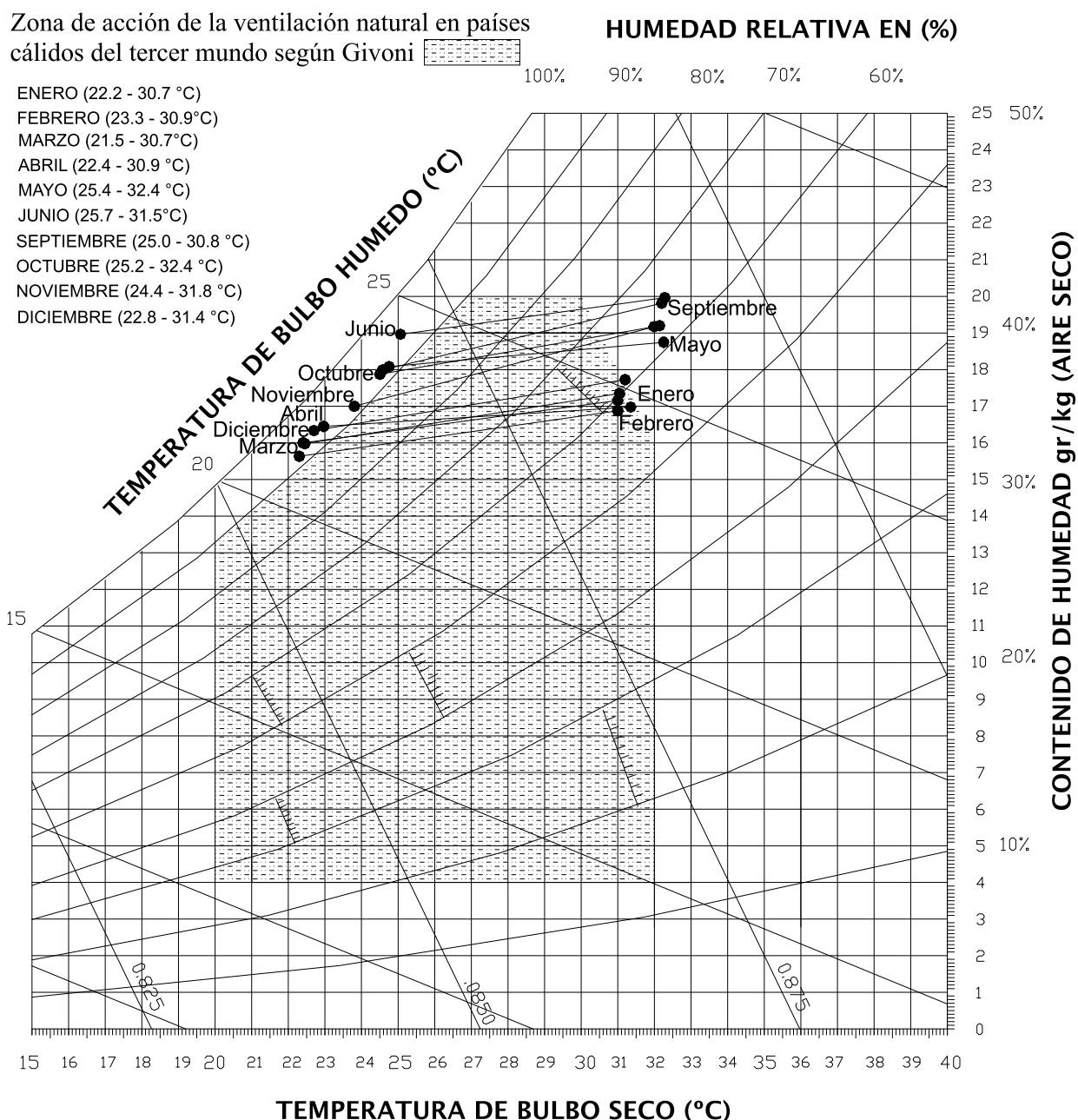


Figura 52: Carta psicrométrica de Acapulco

5.3.2 CARTA BIOCLIMATICA DE ACAPULCO (FIGURA 53)

Coincidentemente con lo observado en el diagrama psicrométrico la interpretación de esta carta indica que la ciudad de Acapulco tiene necesidades de ventilación para la mayor parte del año. Los elementos climáticos que impiden las condiciones de confort durante todo el año son la alta humedad relativa y la alta temperatura.

A pesar de que todos los meses están fuera de confort se pueden distinguir dentro de la temporada de clases claramente dos grupos de meses con distintos requerimientos. Cabe mencionar que esta carta no puntualiza las necesidades de aire mínima para el confort.

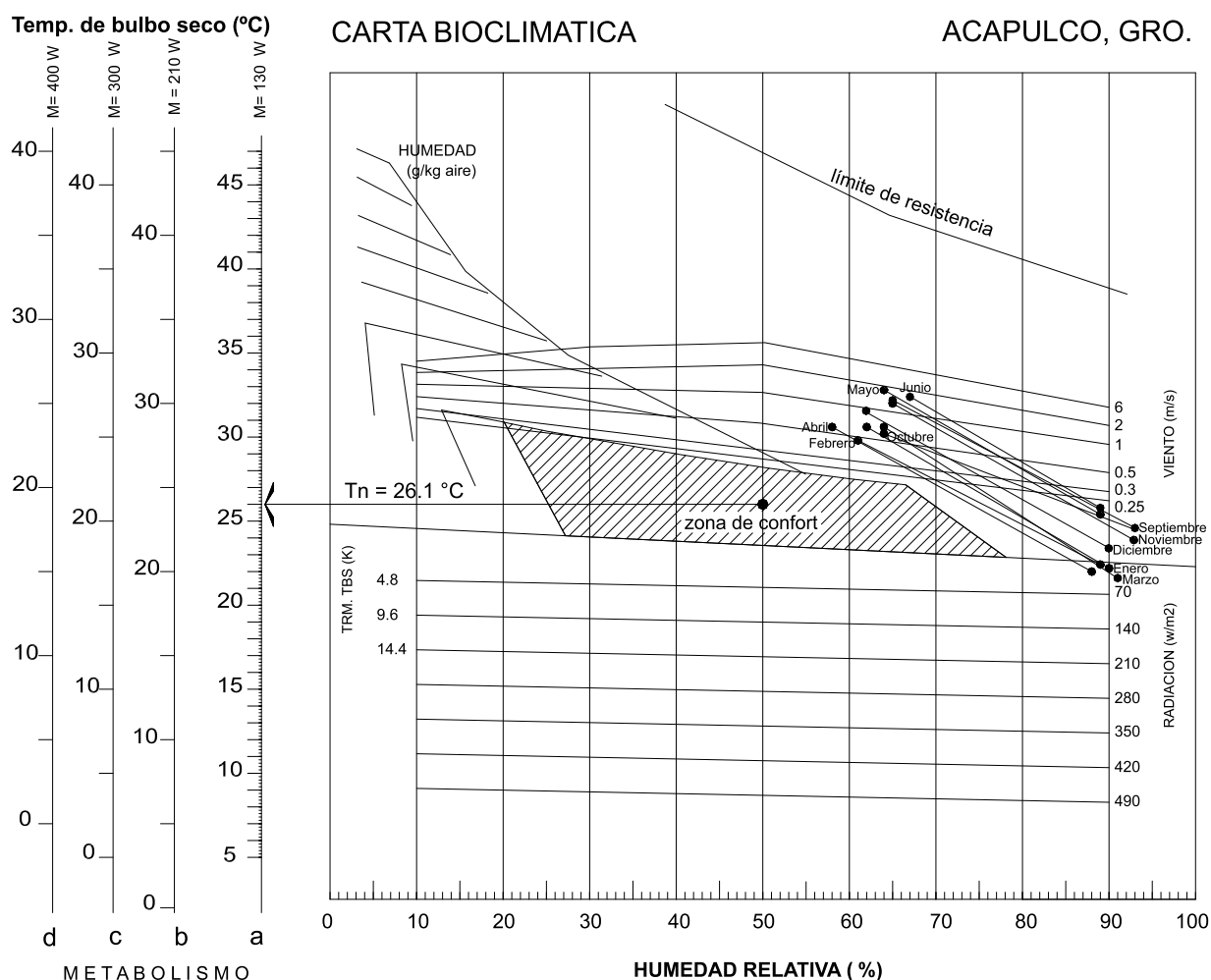


Figura 53: Carta bioclimática de Acapulco

El primer grupo es de Diciembre a Abril y son los meses que tienen menores necesidades de ventilación. En esta temporada la velocidad de viento necesaria para disminuir la sensación de

calor se ubica por debajo de 1 metro por segundo. Esta velocidad de viento es aceptable al interior de un espacio habitable y no es capaz de hacer volar hojas de papel.

En este periodo se llegan a presentar situaciones que requieren calentamiento, sin embargo esta necesidad es muy baja (menos de 50 W/m²) y solo se presenta al aire libre, sin embargo al interior de un aula el aporte térmico de los alumnos y del edificio puede calentar rápidamente el ambiente.

El segundo grupo de meses es de Mayo hasta Noviembre y sus características es el calor constante, en ningún momento se requiere calentamiento. La ventilación no es tan efectiva para disminuir la temperatura en las horas más cálidas del día ya que se llega a necesitar vientos de hasta 2 metros por segundo. La ventilación es requerida en la mayor parte del tiempo en diferentes intensidades.

La ventilación natural puede aliviar la sensación de incomodidad higrotérmica para la mayor parte del día, incluso en los meses más cálidos. Las horas de mayor temperatura rara vez tienen actividad escolar por lo que se considera que el recurso de la ventilación puede mejorar los niveles de confort.

5.3.3 ZONA DE CONFORT EN ACAPULCO (FIGURA 54)

La fórmula de Auliciems puede calcular la zona de confort mediante la temperatura media de una localidad según el siguiente método:

Zona de confort térmico (ZCT) local = Tn +/- 2.5 °C

En donde: Tn = temperatura neutra, misma que se obtiene mediante:

Tn = 17.6 + 0.31 (temperatura media mensual)

La zona de confort mensual se calcula a partir de la temperatura media mensual, como ésta última se mantiene bastante constante a lo largo del año también los límites de confort se mantienen altos. A lo largo de todo el año la oscilación de estos límites no llega a un grado centígrado, la zona de confort térmico se mantienen entre los 23 los 29 grados centígrados para todo el año.

Temperatura media anual (TMA)	27,8 °C	Tn = 17.6 + 0.31 x 27,8	Temperatura neutra = 26,2	La ZCT local es entre 23,7 y 28,7 grados centígrados								
Temperaturas	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media	26,5	26,6	26,8	27,4	28,7	28,7	28,8	29,0	28,2	28,3	27,8	26,9
Neutra	25,8	25,8	25,9	26,1	26,5	26,5	26,5	26,6	26,3	26,4	26,2	25,9

Límites de	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Confort máximo	28,32	28,35	28,41	28,59	29,00	29,00	29,03	29,09	28,84	28,87	28,72	28,44
Confort mínimo	23,32	23,35	23,41	23,59	24,00	24,00	24,03	24,09	23,84	23,87	23,72	23,44

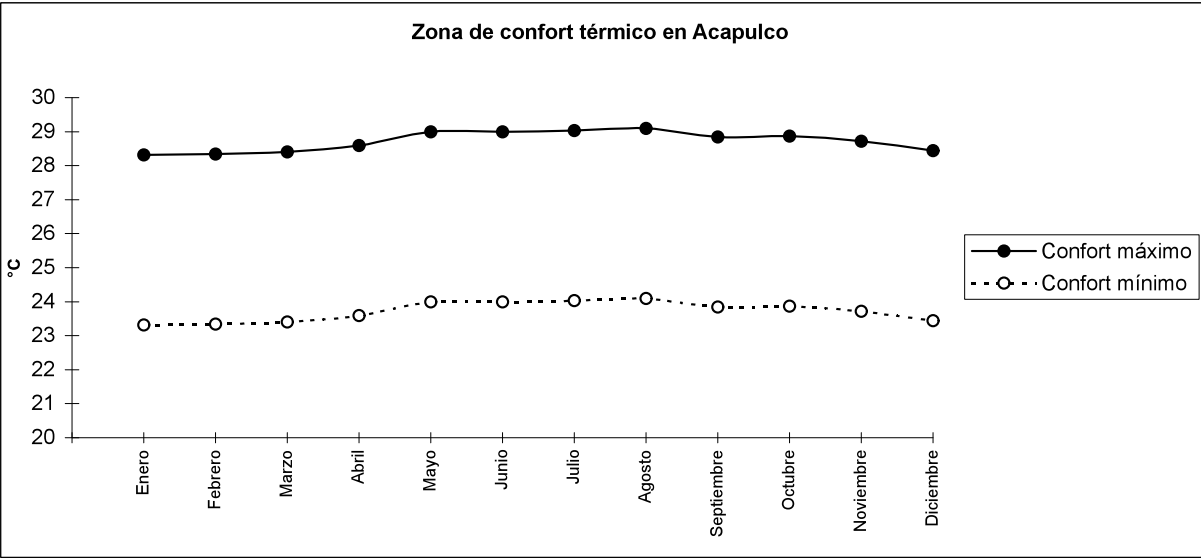


Figura 54: Temperaturas de confort en Acapulco

5.3.4 GRAFICA ESTEREOGRAFICA DE ACAPULCO (FIGURA 55)

La ciudad de Acapulco se encuentra en una latitud inferior a los 23.45° por lo que se le considera como una región tropical, la radiación solar al medio día puede llegar desde el Norte o Sur según la época del año. Los voladizos de aulas solo permiten el paso del sol de medio día en los 2 meses más fríos y los muros están protegidos la mayor parte del año a la misma hora (fig. 55). La mayor cantidad de insolación anual proviene del sur, sin embargo en días cercanos al solsticio de verano llega a tener una inclinación de más de 6° hacia el norte justo en la temporada cuando más se requiere de la protección de la radiación solar. Esta carta también ilustra la penetración solar a las primeras horas del día de los meses de Verano.

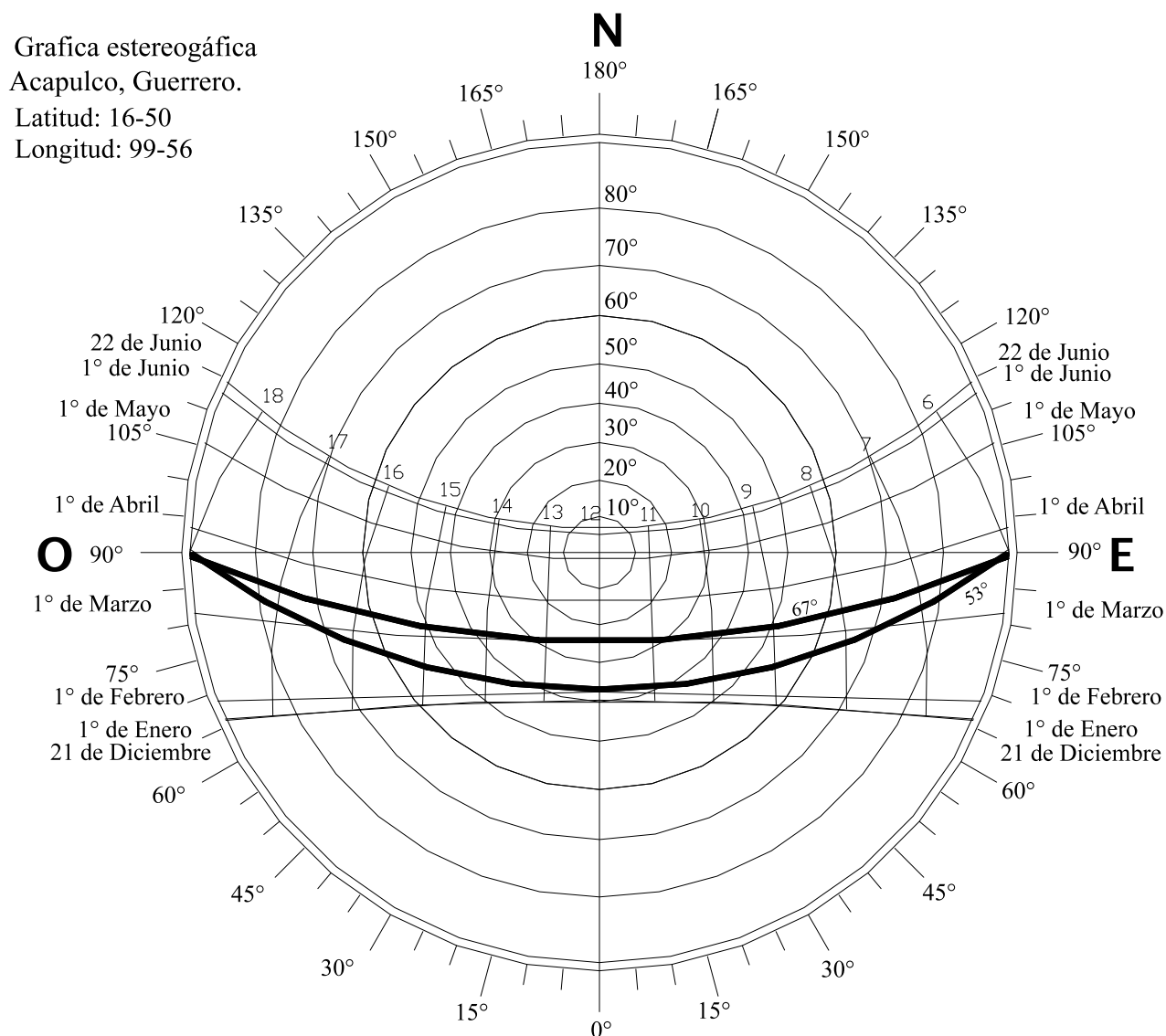


Figura 55: Gráfica de Acapulco, las líneas gruesas son protección de ventanas (53°) y muros (67°)

La incidencia solar a las primeras horas del día en los meses de Verano alcanza un ángulo al acimut de 115, esto significa que el sol sale y se pone a 25° hacia el norte a partir del eje este-oeste. El ángulo de altura solar en el solsticio de invierno es menor a los 40° y el volado de la actual aula del CAPFCE lo bloquea por completo al medio día y la radiación solo penetra al aula en las mañanas.

5.3.5 PENETRACION SOLAR EN AULAS EN ACAPULCO

Las pruebas sobre una maqueta de madera en escala 1:20 de un aula tipo del C.A.P.F.C.E. sugieren que las dimensiones de los volados norte y sur son suficientes para proteger el área de ventanas de en las horas de mayor intensidad de radiación que es cuando el sol se encuentra más cerca del cenit, esto es alrededor de las 12 del día de todos los meses.

En la mayoría de los meses la radiación solo penetra hacia las aulas en las primeras y en las últimas horas del día ya que los volados bloquean de manera efectiva los rayos solares en los momentos con ángulo solar más alto como se puede ver en la figura 56 para el día del equinoccio de primavera donde la protección de ventanas es toral. Los únicos periodos donde se percibe penetración de radiación solar a través de los cristales al medio día es en la época de invierno donde si bien los muros son lo que reciben el mayor impacto también un pequeña franja de los cristales se ve iluminada (fig. 57).

En los meses de verano a las horas cercanas al medio día las ventanas norte y sur quedan completamente bajo la sombra e inclusive los muros quedan bajo la misma sombra. En base a estas apreciaciones se considera que no es conveniente aumentar la longitud de los volados ya que la protección que brindan es suficiente en los meses cálidos y solo en los meses más fríos se cuenta con una mínima superficie de penetración al medio día.



Fig. 56: Aula el 21 de Marzo a las 12:00 hrs.



Fig. 59: Aula el 21 de Diciembre a las 12:00 hrs.

5.3.6 PRUEBAS DE CIELO ARTIFICIAL EN ACAPULCO

Las pruebas de cielo artificial que se realizaron en el laboratorio de cielo artificial de la universidad se hicieron utilizando maquetas de las aulas CAPFCE en escala de 1:20. Los colores de las maquetas fueron lo más parecidos a lo real, el piso está pintado del color gris del cemento ya que gran parte de las escuelas oficiales tienen este material como acabado y las bancas no tienen ocupantes. La figura 58 indica los resultados de las pruebas de iluminación en aulas actuales en dos variantes de color de interiores, blanco y amarillo. El aula pintada de color blanco tiene una iluminación mayor y más uniforme.

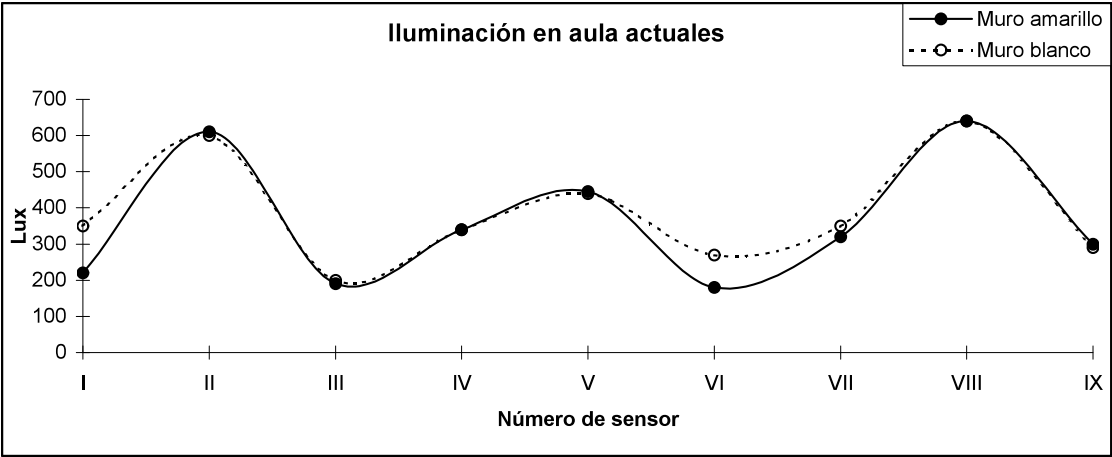
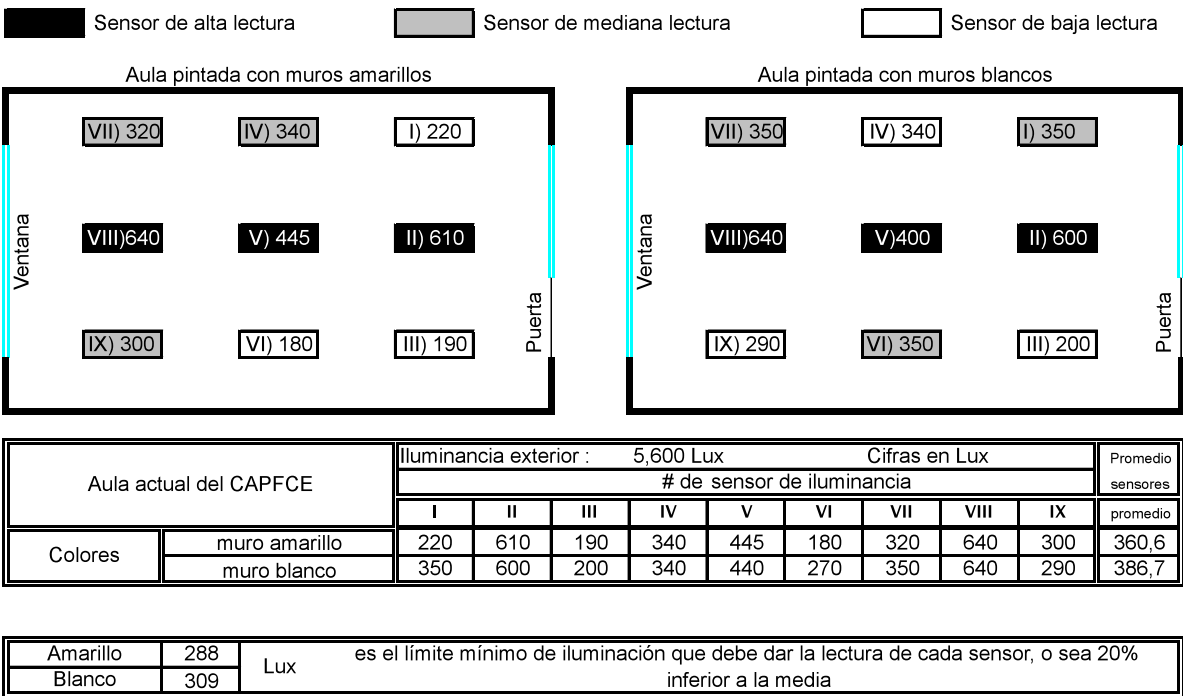


Fig. 58: Tabla de resultados de pruebas de iluminación en situaciones actuales

5.3.7 PRUEBAS DE VIENTO EN ACAPULCO

Las pruebas del impacto del viento en las aulas actuales fueron realizadas sobre maquetas de acrílico. Estas pruebas han demostrado que la penetración de viento en las condiciones actuales es bastante deficiente ya que la orientación de las ventanas hacia el norte y el sur le impide captar los principales vientos dominantes que vienen del Oeste (fig. 59), en la ilustración del impacto del viento Oeste se puede ver que únicamente se ventila mediocrementemente la primera aula de cada módulo de salas de clase mientras que el resto de los espacios de clase tienen una ventilación prácticamente nula. Es importante recordar que los vientos del Oeste no logran penetrar y son los más abundantes a las horas que se tienen los mayores niveles de temperatura.

La penetración de los vientos del Norte es sumamente eficiente ya que inciden de manera frontal sobre la fachada de las aulas (fig. 60 y 61), una vez que el viento a entrado en las aulas se aprecia una ligera desviación en la trayectoria debido a que cuando el viento choca contra un muro y es canalizado hacia una oquedad dentro del mismo, tiende a desviarse hacia el lado contrario de donde haya más superficie de muro.

Esta desviación es causante de que aproximadamente una tercera parte del aula tenga una tasa de ventilación menor al resto. El problema de esta situación es que solo se presenta en las primeras horas de la mañana y no a las horas cercanas al medio día cuando más se requiere una adecuada ventilación. La prueba en el túnel de viento utilizó una maqueta de una sola aula y mostró que los vientos del Oeste prácticamente no penetran.

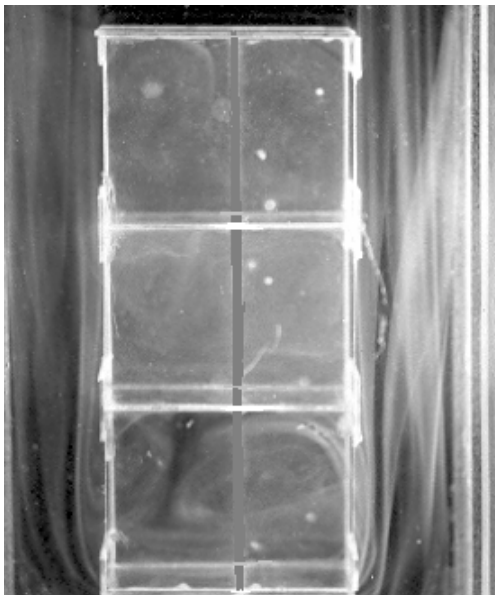
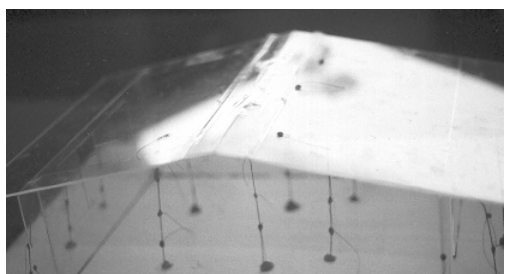
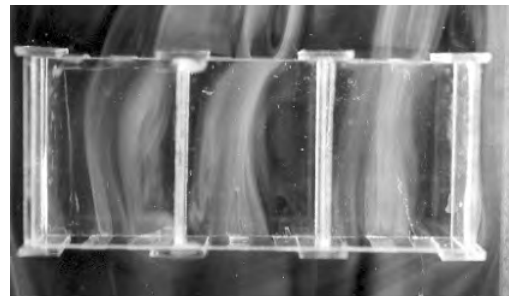


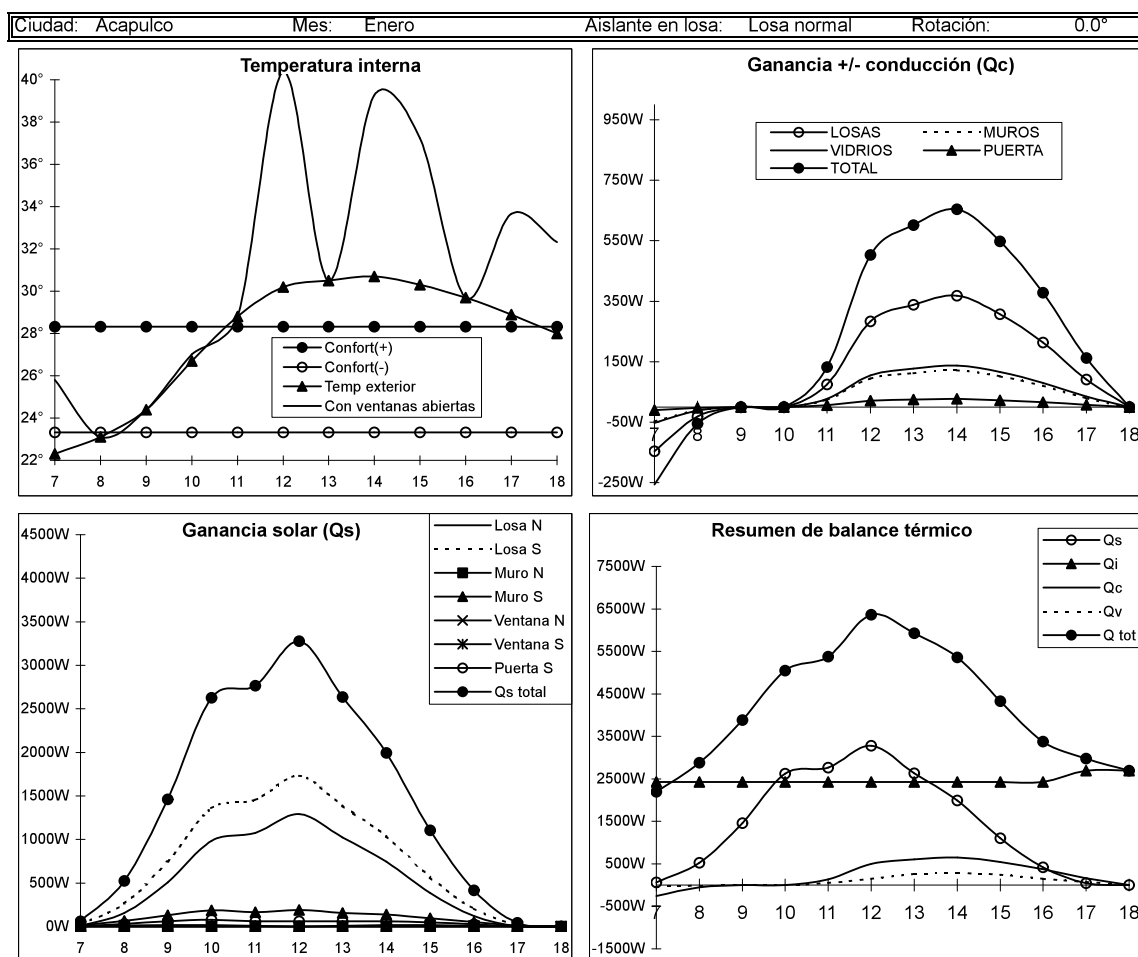
Fig. 59: Impacto de viento Oeste



Viento Norte: Fig. 60 (arriba), Fig. 61 (abajo)

5.3.8 BALANCE TERMICO EN ACAPULCO

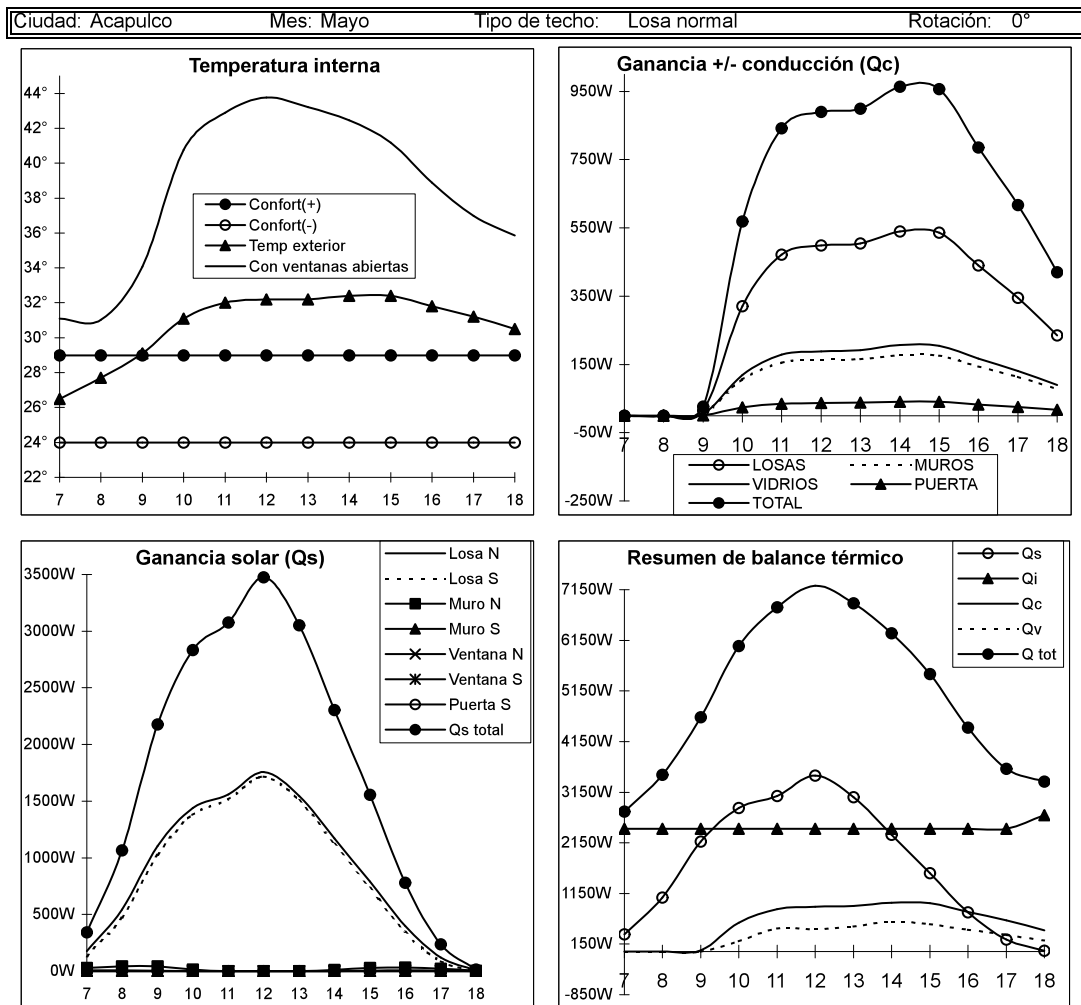
Balance térmico en aulas del CAPFCE en situaciones actuales en el mes de: ENERO (figura 62): Este mes es el que presenta temperaturas más bajas dentro del periodo lectivo, los vientos inciden de forma bastante irregular a lo largo del día produciendo amplias variaciones en la temperatura interna cuando se abren las ventanas (fig. 62 arriba izquierda). La ventilación natural suele ser eficiente solo para algunos momentos, por lo general son las primeras horas, el resto del día es inadecuada. El elemento de la envolvente constructiva más vulnerable es la losa incluso para el mes más frío del año. El resumen de balance térmico muestra que las dos principales causas de sobrecalentamiento son la ganancia solar en escasos momentos cercanos al medio día y la ganancia interna que se mantiene como el principal problema para el resto de la jornada.



(Q_c =Ganancia/pérdida x conducción, Q_i =ganancia interna Q_s =ganancia solar, Q_v =Ganancia/pérdida x infiltración

Figura 62, Temperaturas en aulas actuales de Acapulco (Enero): La mayor ganancia por radiación y por conducción es claramente por la losa, la mayor ganancia al medio día es la solar y la temperatura interna es alta ya que en pocas ocasiones la dirección del viento favorece la disipación del aire caliente.

Balance térmico en aulas del CAPFCE en situaciones actuales en el mes de: MAYO (figura 63):



(Q_c =Ganancia/pérdida x conducción, Q_i =ganancia interna Q_s =ganancia solar, Q_v =Ganancia/pérdida x infiltración
 Figura 63, Temperaturas en aulas actuales de Acapulco (Mayo): La ganancia solar es muy parecida al mes de Enero pero la ganancia por conducción crece y el resumen muestra un aumento de similares proporciones para todos los elementos, los vientos no penetran adecuadamente durante todo el día.

En el mes de Mayo es el que presenta temperaturas más altas dentro del periodo lectivo, adicionalmente a eso los vientos de este mes inciden de forma poco favorable a las fachadas de las aulas de manera que la ventilación natural es muy deficiente para la mayor parte de la jornada con la excepción de las primeras horas cuando, de hecho, se registran las temperaturas más bajas y menos se requiere la ventilación. El elemento de la envolvente constructiva que es más vulnerable es nuevamente la losa ya que es la parte que más calor aporta tanto por medio de conducción como por medio de ganancia solar. El resumen de balance térmico muestra que las dos principales causas de sobrecalentamiento son la ganancia solar en las horas cercanas medio día y la ganancia interna para el resto de la jornada (ver más meses en el apéndice).

5.4 CONCLUSIONES DE LAS AULAS ACTUALES EN ACAPULCO

La determinación de la temperatura observada al interior de las aulas fue tomando en cuenta el caso de una sala de clases situada en una posición intermedia dentro de su módulo de aulas, esto responde a que la mayor parte de las aulas se sitúa en una posición intermedia y de esta forma puede ser considerado como el caso más típico, además si se consideran aulas que se encuentren en las esquinas se debería hacer 2 diferentes análisis para cada uno de los extremos de un núcleo de aulas, y se ignorara el caso de las aulas intermedias.

La ocupación máxima de alumnos que el CAPFCE tiene prevista se disminuyó considerando la disminución de la cantidad de alumnos por aula a nivel nacional, por lo mismo se ha tomado en cuenta una ocupación de 27 alumnos, el cálculo de balance térmico tomó en cuenta el auxilio que puede prestar la ventilación natural considerando que las ventanas estén abiertas. Se consideró que los días fueran soleados sin importar que el estudio se lleve a cabo en meses con considerable incidencia de nublados. El estudio se realiza de manera horaria a lo largo del día y de manera mensual sin considerar los meses de vacaciones.

5.4.1 GANANCIAS TERMICAS

En el principio se especuló sobre la posibilidad de que el mayor factor de ganancia térmica fuera la penetración solar a través de los cristales de las aulas, de tal forma que inicialmente el objetivo central del estudio estaba enfocado hacia el dimensionamiento de volados y parteluces que podrían lograr proteger satisfactoriamente a las ventanas del alcance de la radiación solar, según este primer planteamiento una vez aplicados los sistemas de protección se habría resuelto o por lo menos disminuido el problema de confort dentro de las aulas.

Cuando se desglosaron los factores que contribuían a esta alta temperatura se encontró que el aporte que generan las ventanas es mínimo durante todo el año ya que los volados que ya tienen las aulas del CAPFCE son suficientes para impedir en gran medida la penetración solar haciendo que este factor juegue un papel secundario en el calentamiento global de las aulas. El aporte térmico generado por la puerta del aula también resultó ser escaso ya que la mayor parte de la puerta está resguardada bajo el mismo voladizo de las aulas.

Los mayores factores que causaron realmente el sobrecalentamiento de las aulas fueron las ganancias térmicas internas, durante casi todos los momentos del año fue elemento que más calor

aportó. La única excepción fue el mes de Junio donde únicamente durante el periodo comprendido entre la 10:00 y las 14:00 fue mayor la aportación térmica solar, la diferencia entre ambas era relativamente pequeña. En el resto de los meses se pudo constatar que la ganancia interna desplazó con gran facilidad a cualquiera de las otras fuentes de calor, particularmente en los meses menos cálidos del año. En segundo término se encontró a la ganancia solar por losas y en una menor medida la ganancia solar por muros Este y Oeste. Esta ganancia no se considera por ser no estar comprendida en las aulas intermedias.

La conclusión del balance térmico es que la principal fuente de calor que requiere ser inhibida es la ganancia interna producto del metabolismo propio de sus ocupantes, en la casi totalidad de los meses supera por mucho a los demás factores, el segundo factor digno de importancia fue el aporte térmico solar sobre las losas, la ganancia recibida en muros fue bastante baja por estar estos protegidos por grandes volados que son bastante eficaces en las horas del día con mayor incidencia solar. En conclusión los dos aportes que deben ser disminuidos son: radiación solar (en losas) y la ganancia interna (generada por los alumnos)

5.4.2 ILUMINACION EN AULAS DE ACAPULCO

Las pruebas en el laboratorio de cielo artificial referidas en la sección de evaluaciones de Acapulco demostraron que los niveles de iluminación cuando el aula es pintada de color amarillo son aceptables pues en casi todos los casos se logra alcanzar los 250 lux requeridos para satisfacer al reglamento de construcción. A pesar de que la iluminación promedio (360 lux) es satisfactoria, las lecturas de los medidores tienen considerables fluctuaciones entre sí.

Cuando los muros internos son pintados de color blanco mejoran de manera clara las condiciones de iluminación puesto que únicamente la lectura de un medidor es inferior a los 250 lux. La iluminación promedio también se incrementa (387 lux) y además se vuelve más uniforme.

Los niveles de iluminación en ambos casos superan al 20% de diferencia máxima sugerido por normas internacionales.

Las actuales condiciones de iluminación de las aulas de CAPFCE cubren los requisitos del reglamento mexicano pero ignoran los muy importantes aspectos cualitativos, además se mantienen por debajo de las normas de otros países por lo que se considera que un esfuerzo por aumentar su calidad es viable.

5.4.3 VENTILACION EN AULAS DE ACAPULCO

El impacto del viento es el principal factor que tiene injerencia en la frecuencia con que se presentan situaciones de confort en al ciudad de Acapulco. La coincidencia de la dirección del viento con la orientación de las ventanas es capaz de disipar el calor excesivo, sin embargo esta situación únicamente suele presentarse en las primeras horas del día, hasta las 10 de la mañana aproximadamente cuando los vientos del norte inciden de frente a la fachada Norte de las aulas, el resto del día los vientos del Oeste no logran penetrar a las aulas lo que dificulta de manera notable la remoción del aire caliente (Fig. 64)

HORARIOS DE VENTILACION DEFICIENTE (ACAPULCO)										
Hora	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	SEP	OCT	NOV	DIC
7:00										
8:00										
9:00										
10:00										
11:00										
12:00										
13:00										
14:00										
15:00										
16:00										
17:00										
18:00										

Fig. 64: Periodos horarios en que el viento no incide contra las ventanas (Acapulco)

Una vez que se abre totalmente el área de ventilación disponible se obtienen valores muy variables que dependen principalmente de la dirección del viento y en segundo lugar de la velocidad del mismo. Cuando la dirección del viento es favorable la ganancia interna puede ser removida fácilmente por la medio de la ventilación cruzada. En algunas ocasiones las aulas pueden tener niveles aceptables de confort con vientos de baja velocidad siempre y cuando la dirección sea favorable.

Se recomienda hacer un cambio en el diseño de las aulas de Acapulco que pueda aumentar la cantidad de periodos horarios en que el viento sea capaz de cruzar al inmueble.

5.4.4 CONFORT HIGROTÉRMICO ACTUAL EN ACAPULCO

La temperatura interior de las aulas es en la mayor parte de los casos superior al límite máximo de confort cuando no se hace uso eficiente de la ventilación natural. La única excepción son los meses de invierno donde solo durante la primera hora de clases la temperatura interior se encuentra dentro de los niveles de confort. En el resto de los casos la temperatura se eleva notoriamente por encima de las condiciones óptimas de confort llegando a situarse ligeramente por debajo de los 40°C (el límite superior de confort en Acapulco nunca llega a los 30°C en los meses más cálidos). Este hecho confirmó la hipótesis que indicaba que los niveles de incomodidad son sumamente altos la mayor parte del año.

La finalidad del estudio de balance térmico es conocer la temperatura observada bajo las condiciones de diseño actuales con la ocupación máxima considerada de 27 alumnos, con las ventanas abiertas, y con los materiales usados actualmente. El objetivo es ponderar la diferencia entre la situación actual y la óptima.

Se realizó un estudio de balance térmico sobre las aulas tipo (ver apéndice), el estudio comprendió todas las horas con incidencia de rayos solares del día 21 de cada mes con datos horarios normalizados de humedad, temperatura de bulbo seco y vientos de los últimos 10 años. Mediante el uso de hojas de cálculo se realizó el análisis de la situación de confort actual y se definieron los factores que más influyen para crear la sensación de incomodidad, los resultados para la ciudad de Acapulco indican que las temperaturas al interior de las aulas son más altas de lo que pueden soportar por personas acostumbradas a ese clima durante la mayor parte del año.

La conclusión es que la temperatura se mantiene permanentemente fuera de confort a lo largo del año con breves periodos aislados de confort cuando ocasionales vientos que tienen impacto favorable sobre las ventanas de las aulas.

En ninguna estación se registran temperaturas internas por debajo de la zona de confort, por lo que no se recomienda el empleo de ningún tipo de sistema para incentivar la ganancia térmica en ninguna época del año, todos los esfuerzos se deben dirigir hacia la disminución de la ganancia interna durante todo el año.

La conclusión es que la temperatura interna rebasa los límites permisibles de confort para la mayor parte de los días de año y para casi todas las horas con la excepción de las primeras horas de la mañana. El problema del sobrecalentamiento es constante para este caso de estudio y se sugiere un nuevo diseño de aulas.

CAPITULO VI

DIAGOSTICO DEL CASO CALIDO SECO

6.1 INTRODUCCION A LA CIUDAD DE LA PAZ, B.C.S

Esta ciudad es capital del estado de Baja California Sur, una de las dos entidades federativas con menor población de México. La población de La Paz asciende a unos 169,000 habitantes.

Hernán Cortés fue el primer europeo en colonizar la península de Baja California al dejar apostado un destacamento en las cercanías de La Paz en el año de 1535, sin embargo no hubo ninguna ocupación permanente sino hasta 1811. La ciudad fue ocupada por tropas yanquis durante la guerra México-estadounidense (1846-1848), más tarde la ciudad fue tomada por un aventurero norteamericano de nombre William Walker quien la declaró la «República de Baja California», sus intenciones fueron desvanecidas por la presión del gobierno mexicano. Después de este incidente empezó realmente la colonización de la península, se desarrolló notoriamente la industria de la perla pero durante el periodo de la revolución disminuyó hasta casi desaparecer.

Hoy en día La Paz es una ciudad tranquila con unos cuantos edificios coloniales, bellas playas y un malecón lleno de palmeras. La actividad turística ha cobrado cierta importancia. En invierno recibe considerables cantidades de visitantes norteamericanos que en muchos casos solo vienen de paso, principalmente van a San José del Cabo, a tres horas en autobús, o se dirigen al puerto de Pichilique, situado a 23 kilómetros al norte de la ciudad de donde zarpan embarcaciones hacia Topolobampo y Mazatlán en el estado de Sinaloa. Durante el invierno es común que se retrasen los barcos debido a los fuertes vientos. Esta área es el hogar de unas 800 especies de peces y de al menos 2000 invertebrados, es común la observación de delfines y leones marinos en la superficie del mar mientras que en las profundidades se pueden ver ballenas y manta rallas gigantes.



Fig. 65: Paisaje típico de los alrededores de La Paz



Fig. 66: Jardín Velasco (Plaza de la constitución)

Es difícil perderse en el centro de La Paz ya que sus calles están distribuidas en una retícula estilo «tablero de ajedrez», sin embargo las calles cambian de nombre casi a cada cuadra. La mayor parte de los lugares de interés están ubicados a lo largo del paseo Obregón que se sitúa a la orilla de la bahía de La Paz.



Fig. 67: Muelle de La Paz



Fig. 68: Fauna local

Fotos: trybaja.com



Fig. 69: Ubicación de La Paz (Guía México desconocido, 2003)

La Paz se sitúa en un clima cálido seco, (latitud 24.10°, longitud 110.25°). Debido a la escasa precipitación total anual sería lógico pensar que la humedad relativa fuera baja, sin embargo dada su ubicación en zona costera los niveles de humedad son incrementados por medio de la brisa y el resultado son niveles de humedad relativa medios. Este mismo fenómeno provoca que la oscilación térmica no sea tan grande como en otros desiertos. Los alrededores de la ciudad de La Paz tienen predominio de climas seco muy cálido y cálido. El resto del estado tiene un clima árido con la sola excepción de una pequeña zona al sur del estado.

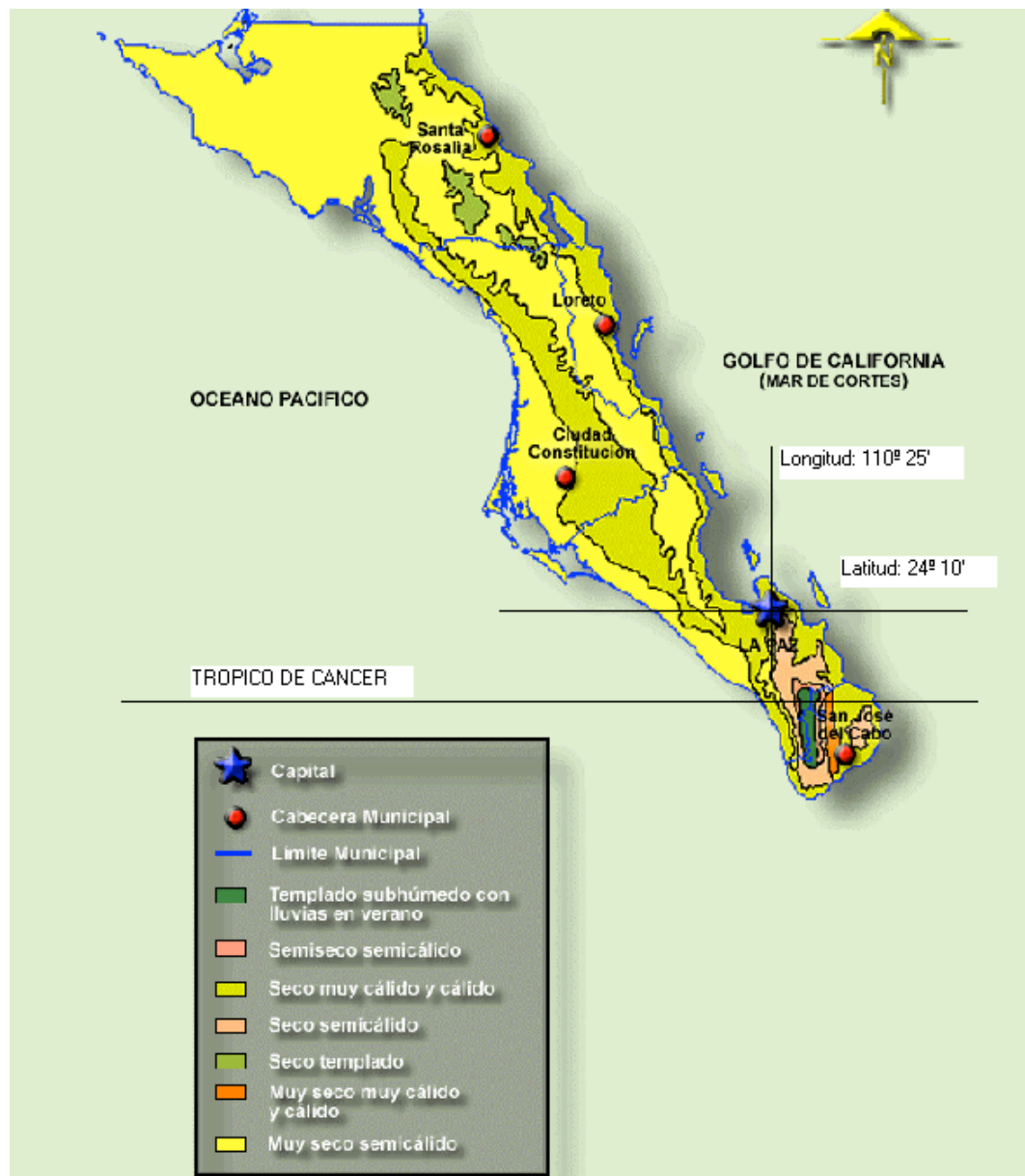


Fig. 70: Mapa climático del estado de Baja California Sur

6.2 DATOS CLIMATICOS DE LA PAZ

Los datos considerados para esta sección fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y las lecturas fueron tomadas del mismo horario que fue considerado para la ciudad de Acapulco, entre la 7:00 y las 18:00 horas. La coincidencia en las horas investigadas fue por tratarse del mismo horario de clases. El periodo comprendido fue en todos los casos entre 1992 y 2001 salvo en los datos normalizados de clima en que se utilizó el periodo de 1940 a 1970 que fue el periodo más reciente publicado oficialmente al momento de la recopilación de datos.

Tampoco se tomaron en cuenta los cambios en la lectura de datos por el horario de verano por los motivos mencionados en el capítulo anterior. Cabe señalar que el horario civil con el que funcionan los observatorios es más exacto para esta ciudad puesto que la diferencia entre la hora civil y la solar es como media de tan solo 20 minutos, esto es la mitad de los 40 minutos para la ciudad de Acapulco.

La principal característica que se observa en el análisis de las páginas siguientes es el mediano nivel de humedad en el ambiente para este clima catalogado como desértico. La razón de esta humedad atípica es su situación costera. Por este mismo motivo los cambios de temperatura a lo largo del día no son tan drásticos.

6.2.1 DATOS NORMALIZADOS, 1941-1970, (FIG. 71)

La temperatura media máxima al exterior en todos los meses con actividad escolar son inferiores a los 35°C, límite permisible para ventilar sin necesidad de enfriar previamente el aire. La oscilación térmica para los meses más extremos apenas excede los 14°C y no coincide con los meses más cálidos.

La precipitación pluvial anual es baja, el clima se considera desértico por situarse debajo de los 400 mm anuales. El periodo vacacional se empalma con la mayor parte de la temporada de lluvias que es entre junio y Septiembre. La humedad relativa media mensual a lo largo del año se ubica dentro de los límites de confort con un 10% de variación.

La nubosidad es escasa, Agosto es el único mes que tiene más de cinco días nublados, los meses de Abril, Mayo, Junio y Octubre registran más de 20 días de cielo completamente despejado.

NORMALES DE CLIMA	LA PAZ B.C.S.	Latitud 24-10	Longitud 110-25	Altitud: 10 msnm	Periodo 1941-1970
--------------------------	--------------------------------	------------------	--------------------	---------------------	----------------------

Temperatura

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Vacaciones	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Máxima extrema	30,5	34,5	35,2	39	40,4	41,5		40	39	36,2	33,2	43,1
Fecha(día/año)	14/57	20/54	28/63	25/65	29/68	06/66		vs/vs	16/50	10/50	01/50	27/07/64
Máxima promedio	22,7	24,2	26,3	29,4	32,6	33,7		34,7	32,4	28,5	24,6	30,0
Bulbo seco	17,9	18,8	19,9	22,2	24,6	26,5		29,1	26,6	22,9	19,5	23,9
Mínima promedio	12,6	12,9	13,2	14,8	16,8	19,1		23,5	20,4	16,8	13,7	17,6
Mínima extrema	2,2	1,9	4	5	7,2	8		13	11	6,6	5	1,9
Fecha(día/año)	18/56	06/56	vs/vs	01/61	06/61	vs/vs		vs/64	07/62	24/61	30,61	06/02/56
Oscilación	10,1	11,3	13,1	14,6	15,8	14,6		11,2	12	11,7	10,9	12,4

Humedad

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Vacaciones	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Tem. B húmedo	14,1	14,2	13,5	15,3	17,2	18,1		21,5	19,2	17,1	13,3	17,2
Hum rel media	69	62	62	61	60	59		65	64	64	65	62,9
Evaporac total	169,2	155,9	184,4	172,8	173,2	170,2		182,8	182,8	172,9	173,5	176,1
Tensión med vap	13,8	14,5	15,6	17,2	19,5	21,4		25,5	22,9	18,6	16	19,6

Precipitación

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Vacaciones	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Total	14,7	3,5	2,0	1,1	0,2	2,4		65,3	12,7	5,4	20,1	177,0
Máxima	124,0	29,0	20,0	22,6	5,4	35,0		381,6	75,2	100,0	78,8	381,6
Fecha (año)	49	68	68	52	58	56		43	42	42	43	09/43
Máx mes/24 hrs.	66,7	16,0	18,0	21,6	4,2	35,0		179,0	75,2	60,0	43,5	179,0
Fecha (día/año)	11/60	14/68	19/57	18/52	12/58	27/56		21/43	01/42	04/42	11/51	21/09/43
Máxima 1 hora	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fecha (día/año)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Mínima	0,3	1,0	1,0	1,6	5,4	0,8		1,0	1,0	2,0	1,0	3,0
Fecha (año)	57	70	65	56	58	49		63	vs	55	vs	01/57
Tot horas sol	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Visibilidad dominante	7	7	9	7	7	9		7	8	7	7	7

Frecuencia de elementos y fenómenos especiales

cifras en # días	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Vacaciones	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Lluvia apreciable	1,62	0,65	0,28	0,16	0,08	0,32		3,43	1,38	0,50	2,30	15,8
Lluvia inapreciable	1,11	1,00	0,44	0,33	0,16	0,28		2,34	1,23	0,58	1,21	13,2
Despejados	14,65	16,67	19,34	20,00	24,41	24,75		14,07	20,86	17,62	16,13	213,9
Medio nublados	11,34	8,89	9,31	8,10	5,62	4,86		14,28	7,73	9,55	10,41	118,4
Nublado/cerrado	5,00	2,67	2,34	1,89	0,96	0,37		3,64	2,40	2,82	4,44	34,8
Rocio	12,59	11,48	12,50	9,60	0,00	0,00		2,50	1,36	4,21	6,16	61,7
Granizo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tempestad eléctrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,50	0,03	0,00	0,00	0,8
Niebla	1,93	1,21	0,03	0,00	0,00	0,00		0,00	0,17	0,24	0,96	4,5

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Figura 71: Datos normalizados de la ciudad de La Paz, B.C.S. (1941-1970)

6.2.2 TEMPERATURA HORARIA BULBO SECO EN LA PAZ, 1992-2001 (FIG. 72)

Las casillas que carecen de sombreado representan los casos en que la temperatura al aire libre es considerada confortable, las ocasiones en que el sombreado es gris se refiere a situaciones en que la temperatura se encuentra por debajo del límite de confort y el sombreado negro es para todas los casos en que se presenta calor para la población local.

Temperatura media anual	23.9	°C	Temperatura (°C)		Color
Temperatura neutra	25.0	°C	de	27.6	a 37.5
Zona de confort según Auliciems			de	22.5	a 27.5
entre 22.5 y 27.5 °C			de	12.5	a 22.4

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Periodo vacacional: Julio y Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	16.1	18.5	16.1	19.2	20.2	24.8		26.3	22.3	19.3	15.2
2	15.5	17.8	17.7	18.4	19.5	24.3		26.1	21.5	18.8	14.6
3	15.1	17	16.9	17.9	18.8	23.3		25.8	20.9	18.1	13.7
4	14.1	16.1	16.1	18	18.5	22.9		26.4	20.7	17.7	14.2
5	13.8	15.33	16	17.4	18.3	23.0		25.3	19.8	17.5	14.1
6	13.2	14.2	15.9	16.5	18	23.0		24.9	19.7	17.6	14.1
7	13.3	14.1	15.8	17	19.1	24.2		25.0	19.9	18	14.2
8	14.3	15.3	18.2	20.1	21.7	26.4		27.0	22.1	19.7	14.8
9	17.8	19.1	21.5	25.0	25.6	30.5		29.7	26.7	22.9	18.1
10	20.9	23.5	24.6	28.6	28.2	33.1		31.7	29.6	25.5	20.7
11	22.6	24.9	26.3	30.6	29.4	35.0		32.7	30.8	26.7	22.1
12	24.3	26.6	27.7	31.7	31.0	35.7		34.1	31.6	27.9	23.9
13	24.9	27.0	28.8	32.6	32.1	36.6		34.0	32.3	28.7	24.4
14	25.1	27.5	29.4	33.1	32.9	37.0		33.6	32.3	28.5	24.7
15	25.3	27.5	29.8	33.4	34.2	37.2		33.4	32.4	29.2	24.3
16	25.0	27.2	29.6	33.8	33.8	36.9		33.2	32.0	27.9	24.0
17	24.1	26.7	28.7	33.5	32.3	35.1		32.3	31.0	26.6	22.9
18	22.3	24.3	26.6	31.3	30.6	34.2		30.8	29.5	24.6	21.3
19	20.7	22.1	23.6	28.0	26.8	31.4		29.0	28.1	23.6	20.4
20	19.8	21.4	22.5	26.0	25.4	29.3		28.3	26.9	23.3	19.6
21	19	20.5	21.1	24.0	23.9	27.3		27.5	26.1	22.1	19.1
22	18.2	19.4	20	22.4	22.8	26.6		27.1	25.2	21.4	17.6
23	17.6	17.8	19.4	21.2	22.4	25.7		26.0	24.6	20.3	17.1
24	17.2	18.2	18.5	20.3	21.5	24.8		26.4	23.9	19.5	16.1

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Figura 72: Temperatura horaria en La Paz (1992-2001)

Las variaciones respecto a los meses y las horas son mayores que en los climas cálido húmedo, el mes con mayor temperatura media es Septiembre, sin embargo el mes que tiene temperaturas mayores cercanas al medio día es Junio. Las temperaturas medias máximas se registran en los meses de vacaciones de Julio y Agosto, estos son los dos únicos meses donde la temperatura

exterior sobrepasa el límite de los 35°C, que es la temperatura máxima permisible para ventilar sin necesidad de enfriar previamente el aire.

Junio es el único mes donde las temperaturas del medio día suelen rebasar los 35 °C. En una primera observación la interpretación de las normales climatológicas haría pensar que el mes con mayores problemas de calor es Septiembre pero el estudio horario de temperaturas nos indica que durante el horario de clase el mes que presenta mayores problemas es Junio. En general se puede decir que los cuatro meses con más problemas de calor son de Abril a Septiembre, son los únicos con temperaturas superiores a los 30 °C.

El mes con temperatura promedio más fría es Enero donde se perciben niveles de 10°C debajo del confort, sin embargo dentro del horario de clase el mes que tiene mayor cantidad de horas con temperaturas inferiores los 22 °C es Febrero, los tres meses más fríos son de Diciembre a Febrero y también pueden ser considerados como los que tienen mejores condiciones térmicas ya que las temperaturas inferiores a los niveles de confort se presentan a las horas de la madrugada.

Los valores medios y extremos al año son los siguientes (fig. 73)

Temperatura media anual: 23.9 °C

Mes con mayor temperatura media: 35.5 °C (Agosto)

Mes con menor temperatura media: 12.5 °C (Enero)

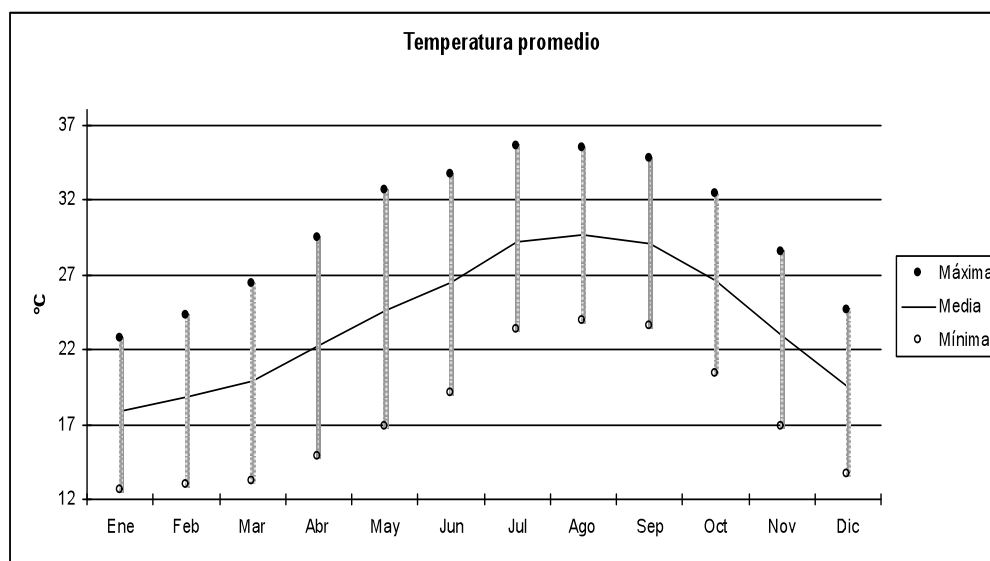


Figura 73: Gráfica de temperatura en La Paz, S.M.N. (1941-1970)

La oscilación térmica a lo largo del día y a lo largo del año es baja si se considera que se trata de un desierto, los niveles de humedad ambiente causantes de esta relativa estabilidad térmica serán tratados en las páginas siguientes.

La oscilación térmica rara vez sobrepasa los 14°C (en los meses de Abril, Mayo y Junio) que es el umbral de la viabilidad del uso de la masa térmica como medio de estabilización de la temperatura interna a lo largo del día. Los meses con mayor oscilación son los que tienen menor precipitación. Entre los 4 meses más cálidos Septiembre registra la menor oscilación térmica, solo 11.2 °C (fig. 74)

Se ha decidido prescindir del uso de muros gruesos de mampostería como elemento de retardo térmico debido a la baja oscilación y a la escasa congruencia de los valores máximos con los meses donde más se necesita.

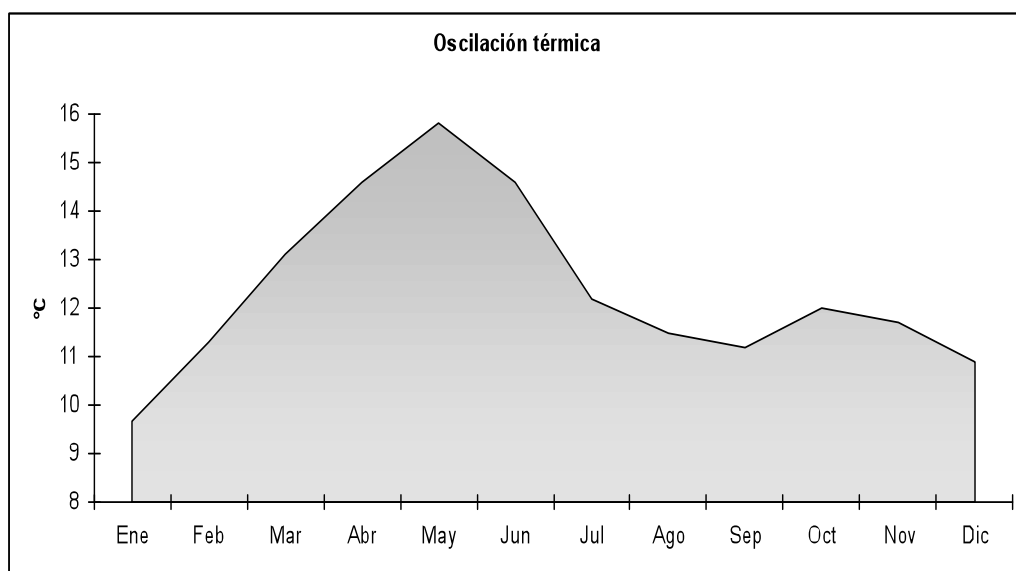


Figura 74: Oscilación térmica en La Paz, S.M.N. (1941-1970)

6.2.3 HUMEDAD RELATIVA HORARIA EN LA PAZ, 1992-2001 (FIG. 75)

Se presentan condiciones de confort higrotérmico óptimo con mucha frecuencia entre las 11 y las 18 horas (casillas carentes de sombreado), pero en meses cálidos es en esas mismas horas que se presentan niveles por debajo del 20% (casillas con sombreado gris). Las escasas ocasiones en que se registra humedad relativa por encima del nivel de confort son en la madrugada o a altas horas de la noche y es solo en temporada de frío, de Septiembre a Enero (casillas de color negro).

Humedad relativa media anual 63.1 %							Humedad relativa(%)		Color
Zona de confort entre 40 y 60%							de 61	a 90	
							de 40	a 60	
							de 20	a 39	

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Periodo vacacional: Julio y Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	79	69	72	75	73	58		81	76	81	79
2	79	71	69	81	75	60		82	78	81	80
3	80	76	70	77	74	63		84	78	82	79
4	84	74	72	75	77	65		84	76	79	81
5	84	77	73	77	79	64		84	80	76	82
6	87	80	73	76	79	64		86	79	79	82
7	86	81	72	73	73	61		85	77	80	78
8	82	77	67	63	65	54		77	70	75	76
9	75	66	60	49	50	43		65	58	65	68
10	65	53	46	36	48	39		55	50	55	62
11	57	47	42	29	43	35		52	43	53	58
12	51	44	36	28	42	37		46	43	48	51
13	49	39	34	28	38	36		48	41	45	46
14	48	41	33	25	36	34		48	42	44	48
15	47	40	33	25	36	35		51	42	44	48
16	47	40	34	22	36	36		52	43	45	51
17	50	40	36	24	41	41		54	46	51	53
18	60	48	45	33	41	40		60	49	63	59
19	65	58	56	44	51	46		66	57	67	65
20	67	62	61	51	61	50		73	65	70	58
21	71	66	64	60	61	55		77	69	73	70
22	75	74	68	66	67	58		77	70	76	73
23	76	77	71	67	66	60		80	72	76	72
24	75	76	74	73	69	64		81	75	81	74

Figura 75: Datos del Servicio meteorológico nacional, S.M.N. (1992-2001)

La humedad relativa media anual es de 62.9% y es muy diferente a la debería esperarse en un desierto con temperaturas altas. Su situación costera le provee de altos niveles de humedad en el ambiente. El mes más seco es Junio, 59%, y el más húmedo es Enero, 69%, estos altos niveles de humedad relativa pueden alterar la percepción térmica de las personas.

La humedad es mayor en general en las madrugadas de los meses más fríos y en particular en el mes de Septiembre que es el que tiene mayor incidencia de precipitación pluvial. Para este mes la humedad relativa difícilmente disminuye del 50% incluso en las horas más cálidas, el mes con mayor cantidad de horas con niveles de humedad confortable es Octubre, solo la noche y la madrugada tienen ligeros niveles de humedad alta. Dentro del horario de clases no es necesario prever la disposición de elementos que disminuyan la humedad del ambiente.

Es más común que esta ciudad padezca de niveles altos de humedad que poca humedad al promediar todas las horas. Dentro de los horarios de clase la situación es inversa aunque también hay muchos casos de horas con niveles de humedad media. El mes de menor humedad relativa en general es Junio (fig 76) pero el que tiene niveles más bajos a las horas cercanas al medio día es claramente Abril donde siete horas al día los niveles de humedad están por debajo del 30%.

En general la temporada de baja humedad es entre Marzo y Junio y la de alta humedad es entre Septiembre y Diciembre. El horario en que es más probable que la humedad relativa se sitúe dentro de los niveles de confort es entre las 10 y las 18 horas del segundo semestre del año.

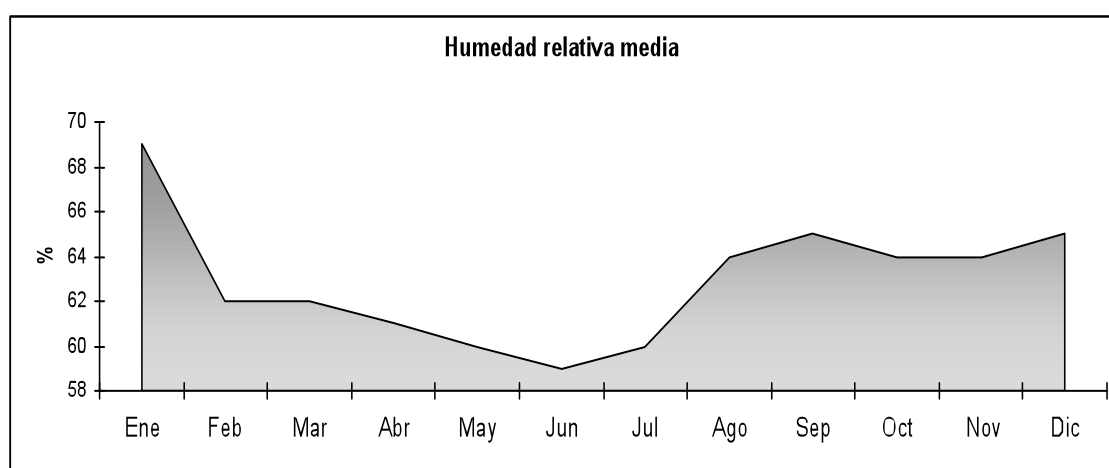


Figura 76: Humedad en La Paz, S.M.N. (1941-1970)

6.2.4 PRECIPITACION PLUVIAL Y NUBOSIDAD EN LA PAZ

La temporada de lluvias es entre Agosto y Septiembre con un pequeño repunte en el mes de Diciembre y Enero, de cualquier forma la lluvia en esta ciudad es un factor de baja importancia ya que precipitación es baja (fig. 77), con 119 mm anuales (la población de mediana importancia con menor precipitación en México es Puerto Cortes, B.C.S. con solo 31.8 mm.) A grandes rasgos se puede considerar que el primer semestre del año es seco, tiene menor cantidad de nublados y de precipitación, el segundo semestre registra un poco de nublados y lluvias.

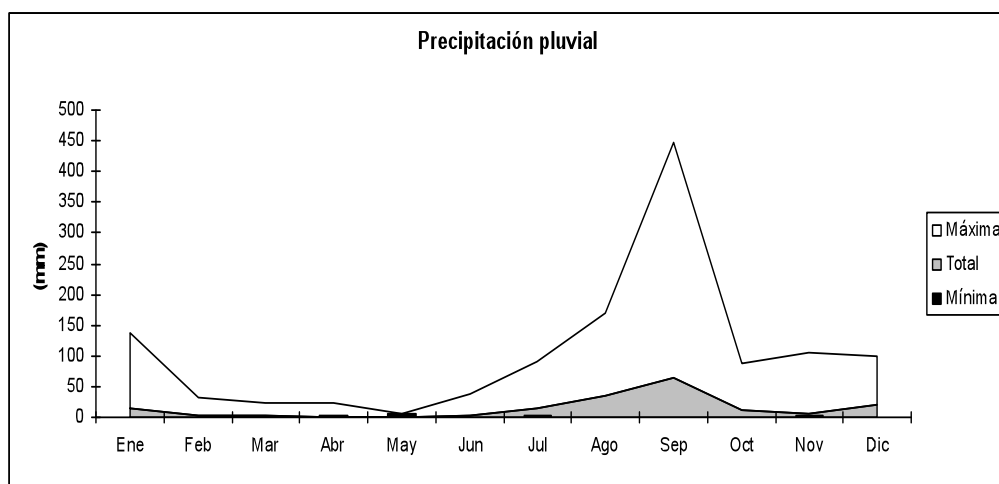


Figura 77: Precipitación en La Paz, Fuente: S.M.N. (1941-1970)

La nubosidad en La Paz no es muy grande puesto que los días completamente cerrados son raros, Agosto es el mes con mayor cantidad de nublados 5.35 días en promedio, además es el único mes que tiene más de 5 días nublados (figura 78). Los meses de Abril, Mayo, Junio y Octubre registran más de 20 días de cielo completamente despejados. Días despejados al año: 213.9

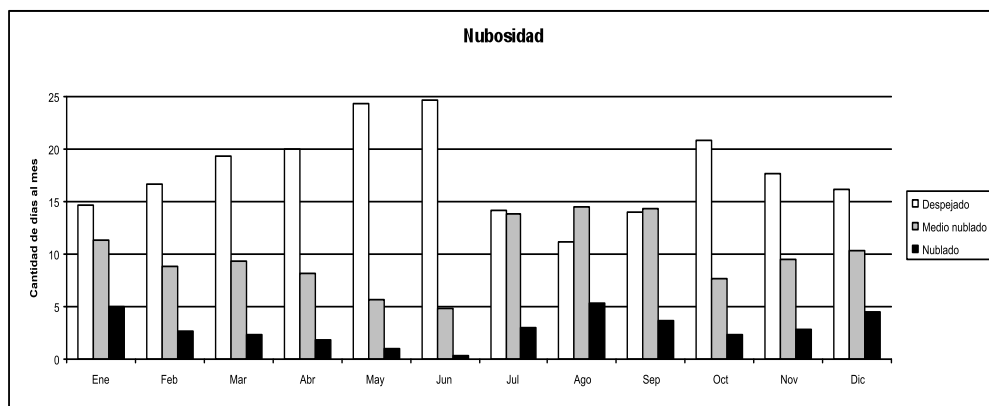


Figura 78: Nubosidad en La Paz, Fuente: S.M.N. (1941-1970)

6.2.5 RADIACION SOLAR EN LA PAZ (FIG 79)

Radiación media anual: 770 Watts /m²

Radiación solar máxima: 839 Watts /m² (Abril),

Radiación solar mínima: 654 Watts /m² (Diciembre)

La mayor parte del año tiene niveles de radiación entre los 700 y 800 los Watts por metro cuadrado. En general se puede decir que la temporada de mayor radiación es entre los meses de Marzo a Octubre con niveles altos que superan los 750 Watts/m² siendo los meses cercanos a los equinoccios los que presentan los niveles punta al situarse por encima de los 800 W/m².

Esta ciudad presenta un grado de insolación muy alto incluso en comparación con las ciudades del norte del país, su media anual es casi igual a la de Hermosillo, Son. que es la ciudad de más de 500,000 habitantes con mayor intensidad de radiación del país.

Se debe considerar una radiación superior a los 700W/m² ya que únicamente el mes de Diciembre se sitúa por debajo de este valor.

Watts / m ²												
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
692	792	820	839	782	763	753	777	783	816	782	654	770

Fuente: Fernández Zayas y Estrada, Cagjal

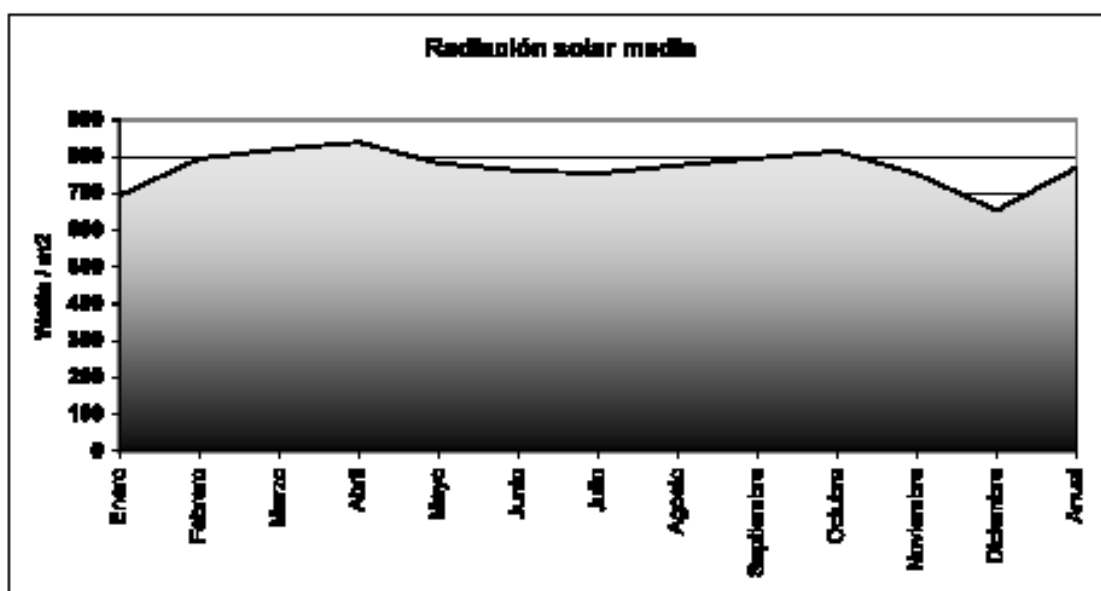


Figura 79: Insolación en La Paz, Fernández y Estrada, 1980

6.2.6 VIENTO EN LA PAZ, 1992-2001 (FIG 80)

Los dos vientos que tienen mayor incidencia son el Noroeste y el Sur, ambos vientos tienen temporadas y horarios relativamente definidos (Fig. 80), los vientos NW predominan en Invierno y alrededor del medio día, los vientos del Sur predominan en la Primavera y Verano hacia las primeras y últimas horas del día (ver detalle de vientos en el apéndice).

Viento dominante Noroeste (NW)		Vientos más comunes		Color	
Porcentaje de casos en que se presenta 31.5 %		Noroeste (NW)			
		Sur (S)			
		Norte			

Lapso	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
7-8	CALMA 0,0	CALMA 0,0	SSE 2,2	SSE 1,8	S 3,8
8-9	CALMA 0,0	CALMA 0,0	SSE 2,4	S 2,6	S 3,1
9-10	CALMA 0,0	CALMA 0,0	S 2,3	S 2,8	S 3,5
10-11	W 1,1	NW 1,3	S 2,4	S 2,8	S 2,4
11-12	NW 1,8	NW 2,2	NW 3,5	NW 2,3	S 3,3
12-13	NW 2,1	NW 2,7	NW 3,0	NW 3,8	NW 3,5
13-14	NW 2,9	NW 2,9	NW 2,2	NW 3,5	S 3,1
14-15	NW 3,0	NW 2,6	W 3,8	NW 3,7	S 4,1
15-16	NW 2,5	NW 2,2	NNW 4,5	NW 2,9	S 3,7
16-17	NW 2,1	NW 2,0	NNW 2,8	NW 2,6	S 3,7
17-18	W 1,7	NW 4,4	S 3,4	NW 2,4	S 4,1
18-19	N 0,8	NNW 2,2	S 2,9	S 4,2	S 3,6
Horas	Vel media 1,5 m/s	Vel media 1,9 m/s	Vel media 3,0 m/s	Vel media 3,0 m/s	Vel media 3,5 m/s

Lapso	JUNIO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
7-8	SSE 2,8	SSE 1,3	CALMA 0,0	N 1,3	CALMA 0,0
8-9	S 2,4	S 1,6	CALMA 0,0	CALMA 0,0	CALMA 0,0
9-10	S 1,8	S 2,3	S 2,7	N 3,8	CALMA 0,0
10-11	S 2,0	S 3,0	SW 1,6	N 4,2	CALMA 0,0
11-12	N 3,5	S 3,0	NW 4,0	N 3,4	SW 1,9
12-13	NW 2,7	S 3,2	NW 3,3	NW 3,3	NW 3,1
13-14	NW 3,8	S 3,6	NNW 4,1	NW 3,5	NW 3,1
14-15	NW 3,1	S 3,3	NNW 3,9	NW 3,9	NW 3,6
15-16	NW 3,0	SE 4,0	NNW 2,9	NW 3,2	NW 3,6
16-17	SW 3,4	SW 3,6	N 3,5	N 2,9	N 3,1
17-18	S 4,1	SW 3,4	N 3,0	N 2,6	N 3,0
18-19	S 4,4	SW 2,6	N 1,9	NW 2,5	N 2,8
Horas	Vel media 3,1 m/s	Vel media 2,9 m/s	Vel media 2,6 m/s	Vel media 2,9 m/s	Vel media 2,0 m/s

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Figura 80: Vientos en la ciudad de La Paz,(S.M.N. 1992-2001)

En un primer momento podría pensarse que el viento no sería de mucha importancia para mejorar las condiciones térmicas del interior de las edificaciones por tratarse de un clima árido, sin embargo este desierto posee una regular oscilación térmica. El caso de estudio en particular

presenta espacios con grandes ganancias internas, esto permite inferir la utilidad de la ventilación como medio de control bioclimático para mejorar las condiciones de confort higrotérmico.

Se tienen ubicados dos direcciones de viento dominantes dentro de las horas de clase. Los dos se presentan casi con la misma frecuencia. El viento Noroeste (NW) se presenta en un 31.5% de las horas de clase a lo largo del año, su horario de incidencia está definido principalmente entre las 11 y las 17 horas. El otro viento importante es el Sur que es propenso a presentarse en las mañanas y en las tardes pero rara vez al medio día, en tercer lugar se encuentran unos cuantos casos de vientos Norte. Cabe recordar que esta ciudad esta sometida a continuas brisas por situarse en la costa, misma que se ubica al Norte de la ciudad.

En las horas cercanas al medio día además de los vientos Noroeste se presentan también varios vientos con direcciones cercanas al Noroeste, principalmente Nor-noroeste (NNW).

En los meses menos cálidos del año, entre Octubre y Febrero es común que se presenten calmas en las primeras horas de la mañana, sin embargo no suelen continuar después de las 10 de la mañana.

Los meses con mayores velocidades de viento suelen ser entre Marzo y Septiembre que también son los que tienen mayores temperaturas media mensuales.

En conclusión se puede considerar que las dos mejores orientaciones para aprovechar el viento de esta ciudad es el Noroeste y en el eje Norte-Sur, la mayor presencia de calmas coincide con los periodos en que menos se requiere ventilar y los vientos más veloces tienen lugar en los meses más cálidos.

6.3 EVALUACIONES EN LA PAZ

6.3.1 CARTA PSICROMETRICA DE LA PAZ, B.C.S. (FIGURA 81)

La delimitación de la zona susceptible de utilizar la ventilación como medio de control bioclimático es la misma que se usó en el caso de Acapulco definida por Givoni. El establecimiento de dicha zona para las diferentes localidades no se basó en la clase de clima cálido sino en la variable de nivel de desarrollo de los países, como las dos ciudades se encuentran en un país en desarrollo los límites de la zona de acción de la ventilación son iguales.

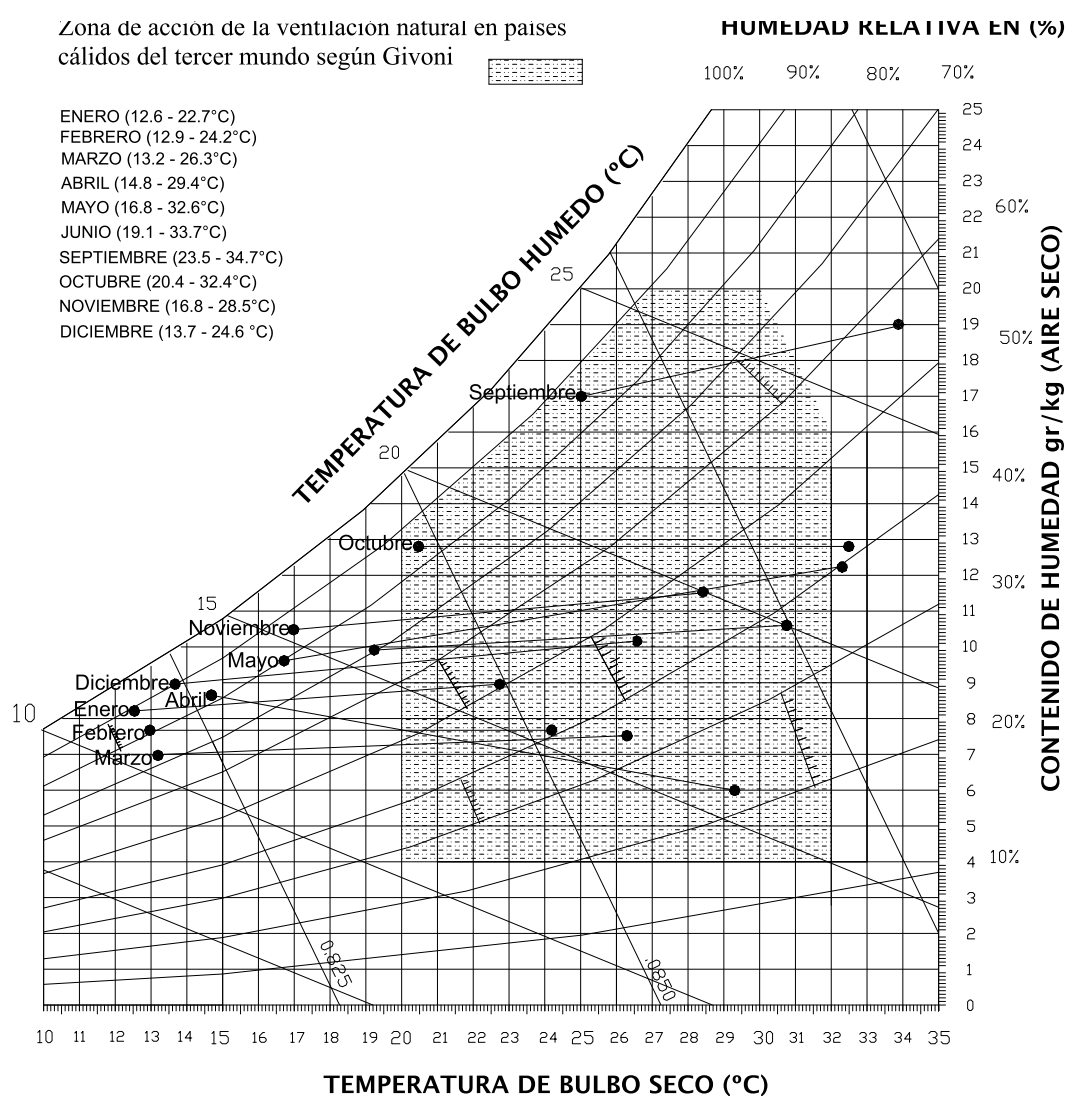


Figura 81: Tabla psicrométrica de La Paz

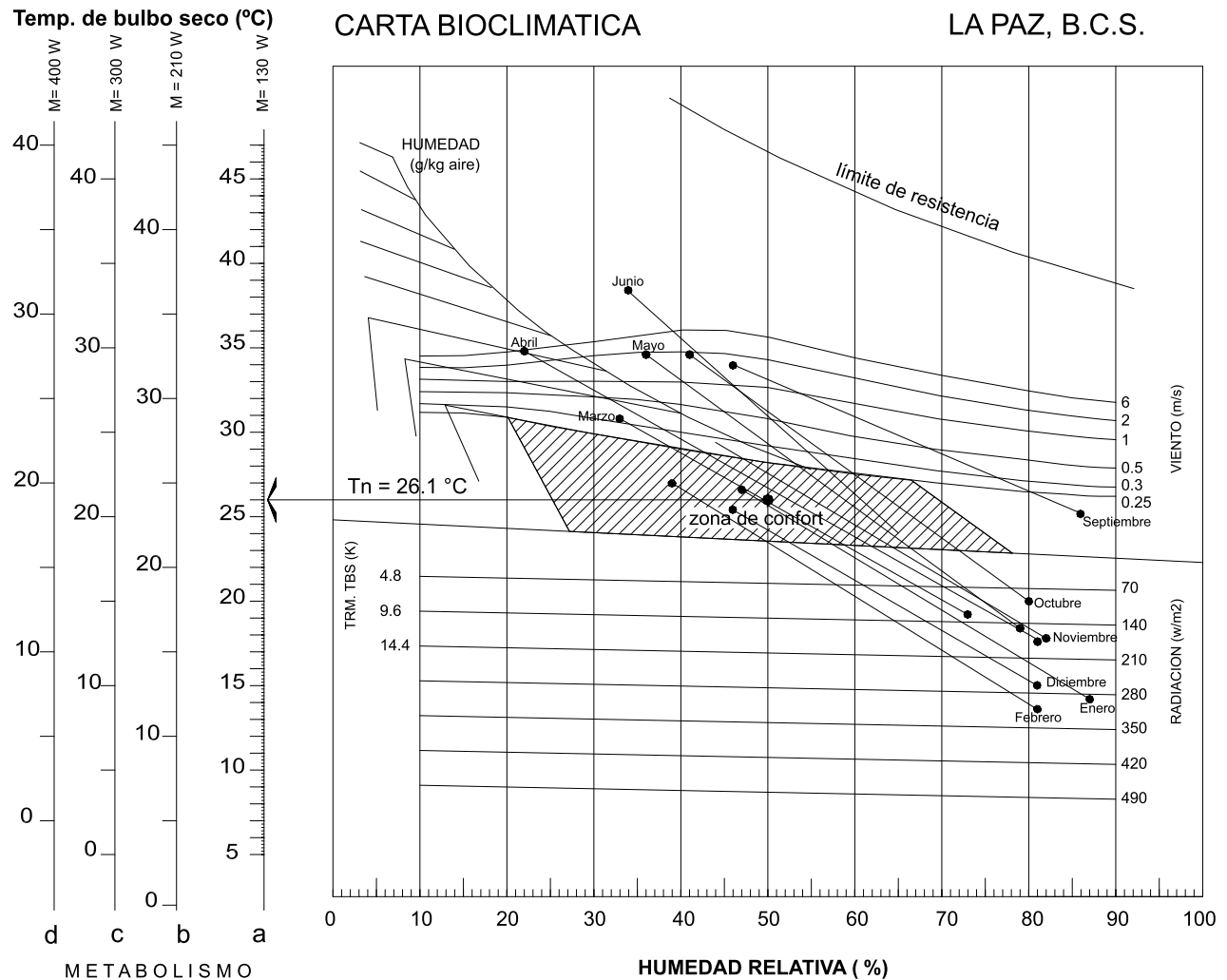
El trazo de las trayectorias que representan el comportamiento higrotérmico a lo largo del día mostró que todos los meses pueden hacer uso de la ventilación en los momentos en que se presentan temperaturas altas siempre y cuando se pueda aumentar el nivel de humedad del ambiente. Los meses de Septiembre, Octubre y Mayo se encuentran muy cerca de los límites de la zona, con una diferencia de tan solo fracciones de grado centígrado por lo que se consideran dentro del mismo grupo. En todos los meses se presentan necesidades de ventilación en varias de las horas cercanas al medio día.

Los meses con mayores necesidades de ventilación son entre Mayo y Octubre donde las temperaturas máximas superan los 30°C, el resto de los meses del año se mantienen lejos del límite del área de ventilación. En general los niveles de humedad relativa a las horas más cálidas rondan entre el 30 y 50% y en particular los meses más cálidos tienden a ser los de mayor humedad ambiente situándose sobre el 40%. El caso con mayores problemas para aumentar la humedad es Septiembre donde se alcanza una humedad relativa del 52%. Estos valores no son tan bajos como se podría esperar en un desierto pero de cualquier forma existe la posibilidad humedecer el aire incluso en el mes de Septiembre que además de tener la temperatura media más alta tiene mayores niveles de humedad debido a su coincidencia con la estación de lluvias. Este mes rebasa por 2.7°C el límite propuesto por Givoni de 32°C para poder ventilar sin preenfriar el aire. Esta situación sugiere la posibilidad de la utilización de sistemas de aumento de humedad en el ambiente para enfriar el aire.

6.3.2 CARTA BIOCLIMATICA DE LA PAZ (FIG. 82)

Los trazos que representan las variaciones diarias de cada mes muestran claras fluctuaciones a lo largo del año. Los momentos en que se presentan situaciones de confort no son muy frecuentes y es común que se tengan requerimientos tanto de enfriamiento como de calentamiento. Los problemas de altas temperaturas son más conflictivos ya que se requieren altas velocidades de viento para disipar el calor. Septiembre es el único mes que en ningún momento se encuentra en situaciones de confort, sin embargo el mes que alcanza las temperaturas más altas es Junio, en las horas más cálidas de este mes no es recomendable ventilar sin previo enfriamiento de aire debido a que la temperatura supera a los 35°C de la piel humana si bien estas condiciones se presentan en horas sin clases. En cinco meses al año se requieren tasas de ventilación por encima de un metro por segundo. Los problemas de calor son constantes durante todo el año ya que solo los meses

entre Diciembre y Febrero están exentos de situaciones de calor en el exterior. Los meses entre Abril y Noviembre llegan a requerir velocidades de viento de más de 1 metro por segundo para disipar el calor. Los meses de Enero y Febrero llegan a tener necesidades moderadas de calentamiento por encima de los 300 W/m² en las primeras horas del día. El nivel de humedad relativa no es problema ya que casi todo el tiempo se sitúa entre 30 y 80 %. Las horas con humedad mayor al 70% son siempre poco después del amanecer.



6.3.3 ZONA DE CONFORT TÉRMICO EN LA PAZ (FIG. 83)

Se utilizó la fórmula de Auliciems para calcular el rango de confort de la ciudad de La Paz mediante el siguiente desarrollo:

Zona de confort térmico (ZCT) local = $T_n \pm 2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_n = 17.6 + 0.31$ (temp media mensual)

Debido a una considerable diferencia de temperatura a lo largo del año el nivel de confort tiene una oscilación que llega a superar los 3 grados centígrados. Se puede observar que las situaciones de confort fluctúan entre los 21° como límite inferior y los 29°C como límite superior a lo largo del año. Los dos meses en que la temperatura media es intolerable son Julio y Agosto, periodos que carecen de actividad escolar.

Temperatura media anual (TMA)	23,9 °C	$T_n = 17.6 + 0.31 \times$	23,9	Temperatura neutra =	25,0	La ZCT local es entre	22,5	y	27,5	grados centígrados
-------------------------------	---------	----------------------------	------	----------------------	------	-----------------------	------	---	------	--------------------

Temperaturas	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temp media	17,9	18,8	19,9	22,2	24,6	26,5	29,2	29,7	29,1	26,6	22,9	19,5
Temp neutra	23,1	23,4	23,8	24,5	25,2	25,8	26,7	26,8	26,6	25,8	24,7	23,6

Límites de	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Confort (máx)	25,65	25,93	26,27	26,98	27,73	28,32	29,15	29,31	29,12	28,35	27,20	26,15
Confort (mín)	20,65	20,93	21,27	21,98	22,73	23,32	24,15	24,31	24,12	23,35	22,20	21,15

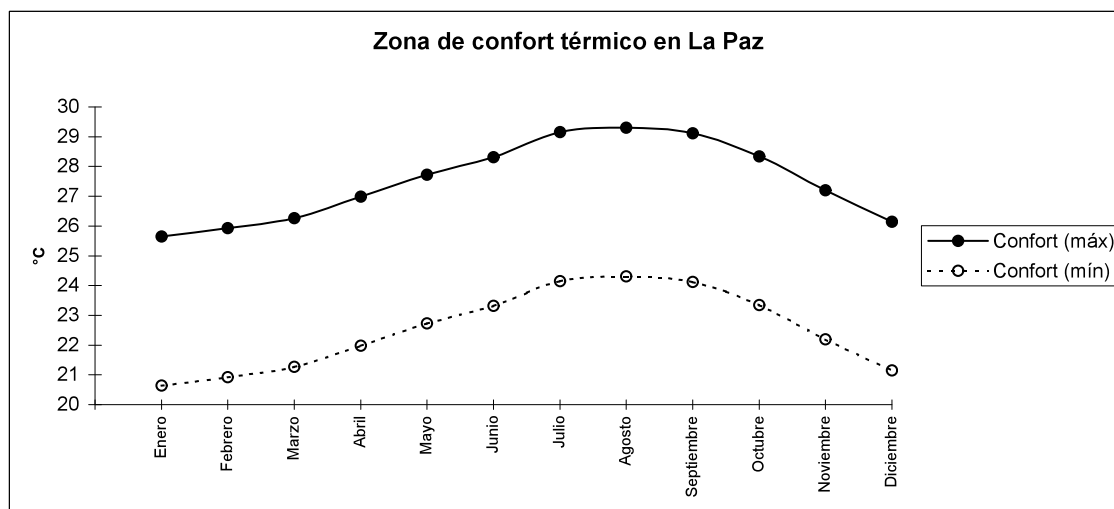


Figura 83: Temperaturas de confort en La Paz

6.3.4 GRAFICA ESTEREOGRAFICA PARA LA PAZ (FIG. 84)

La latitud de esta ciudad no es tropical por ser mayor a los 23.5° . En esta ciudad los rayos del sol al medio día en cualquier época del año vendrán desde el Sur aunque los días cercanos al solsticio de verano esta inclinación es tan pequeña que el sol cae casi a plomo sobre las losas al medio día y no llega a los muros ni ventanas en las horas de mayor ganancia solar debido a los saledizos de los techos. En las horas cercanas al medio día solo se gana radiación a través del vidrio en los meses de invierno mientras que los muros Sur a lo largo del día solo captan radiación entre los equinoccios y el solsticio de verano (fig. 84). En los días más cercanos al solsticio de invierno el ángulo de altura solar al medio día será cercano a los 45° la incidencia será casi igual en muros que en losas. Para esta latitud los volados de las aulas son eficientes ya que bloquean el sol de en el verano y dejan pasar un poco a través de las ventanas en el invierno.

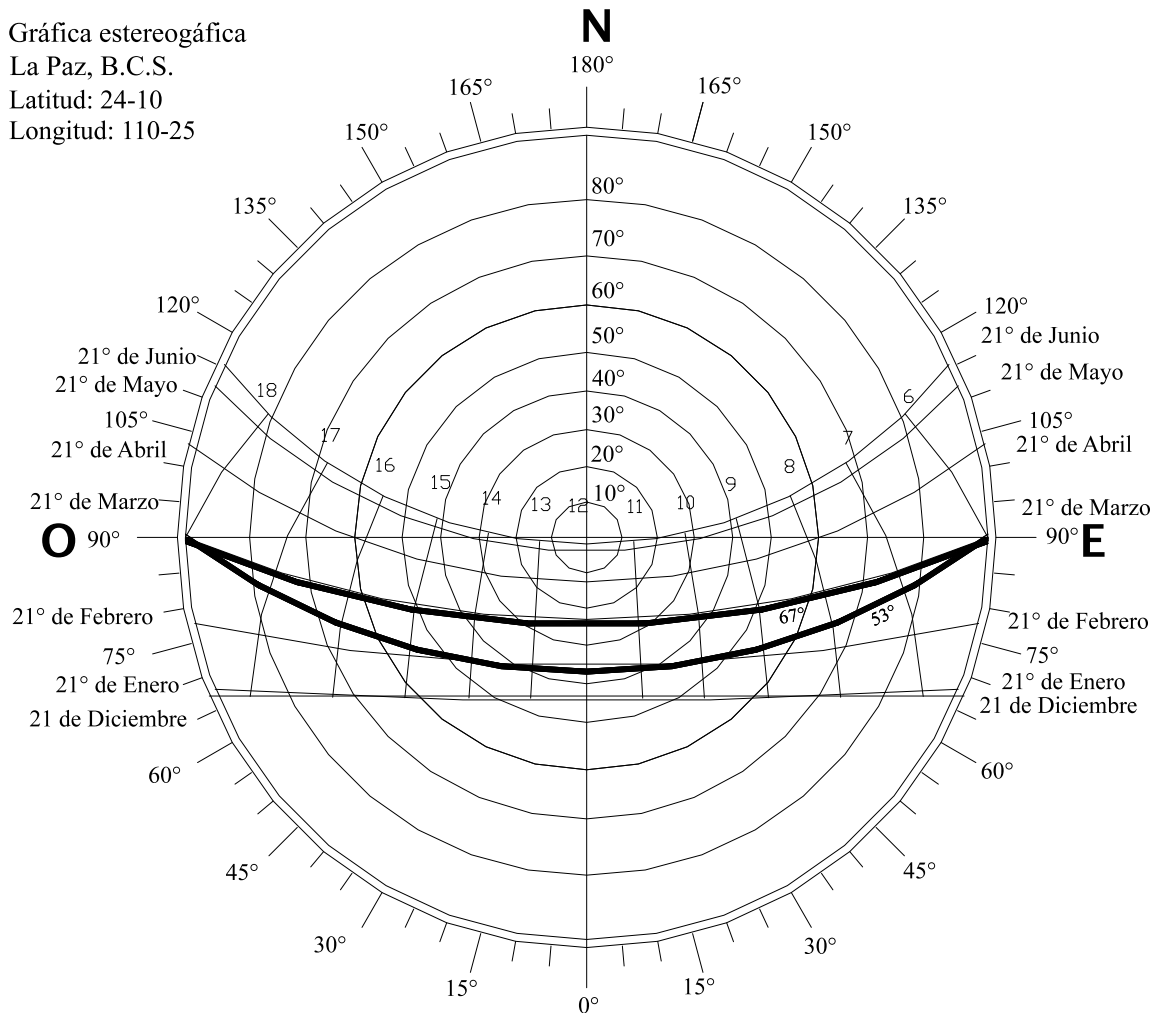


Figura 84: Gráfica de La Paz, las líneas gruesas son protección de ventanas (53°) y muros (67°)

6.3.5 PENETRACION SOLAR EN AULAS EN LA PAZ

Las pruebas de penetración solar en aulas tipo mediante maquetas de aulas tipo observadas con la gráfica gnomónica para la latitud de La Paz arrojaron las siguientes proyecciones:

El volado en este caso del equinoccio (fig. 85) impide con facilidad la penetración del sol en las horas cercanas al medio día que son las más adversas. El sol apenas puede entrar de manera en las últimas horas del día cuando ya no produce una gran ganancia térmica. Se puede notar que incluso gran parte de los muros se ve favorecida por la sombra. Este predominio de proporción de muro bajo sombra es mayor mientras mayor cantidad de aulas tenga cada módulo de salones de clase puesto que el área de muros cercana al límite del volado es la que recibe mayor radiación.



Fig. 85: 21 de Marzo, 15 hrs, aula en La Paz

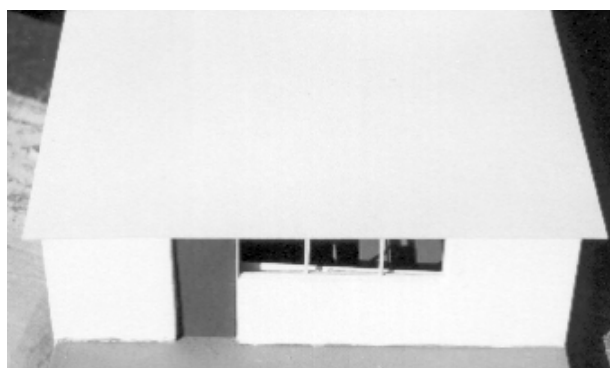


Fig. 86: 21 de Diciembre, 15 hrs, aula en La Paz

El volado permite una parcial penetración de los rayos solares en los días más cercanos al solsticio invierno (fig. 86) cuando la insolación no es un gran problema. La mayor parte de los muros recibe radiación solar y en este caso el mayor agrupamiento de aulas en un solo módulo no supone grandes beneficios en la disminución del área de muros alcanzada por la insolación.

En los días cercanos al solsticio de verano cuando las temperaturas son altas es cuando los volados son más útiles para interceptar los rayos solares puesto que en las horas cercanas al medio día impiden completamente la penetración a través de las ventanas y también logran que la mayor parte de los muros se sitúen bajo la sombra.

La conclusión es que las losas y su prolongación, los volados, son los elementos que absorberán la mayor cantidad de radiación superando claramente a la superficie de muros y ventanas impactada.

6.3.6 PRUEBAS DE CIELO ARTIFICIAL EN LA PAZ

Las pruebas de cielo artificial que se realizaron en el laboratorio de la universidad no tienen la posibilidad de simular las diversas intensidades de iluminación del cielo dependiendo de la latitud. Debido a la igualdad de diseño originales de las aulas de ambas ciudades y a las mismas condiciones de laboratorio los resultados para La Paz son idénticos que en Acapulco. Por esta razón no se repiten los resultados y conclusiones.

6.3.7 PRUEBAS DE VIENTO

Las pruebas de viento se practicaron con dos tipos de maquetas, la primera es de acrílico, a una escala 1:20 acondicionada con postes con hilos adosados para visualizar el movimiento interno del viento al ser introducida al interior del túnel de viento. El segundo tipo de prueba fue con pequeñas maquetas del corte longitudinal de las aulas CAPFCE que fueron introducidas dentro de cajas más de acrílico y que fueron sometidas al embate del humo de incienso en el mismo sentido de los vientos dominantes de la ciudad de La Paz. La segunda prueba se presta más a la observación al interior de maquetas por lo que fue más útil.

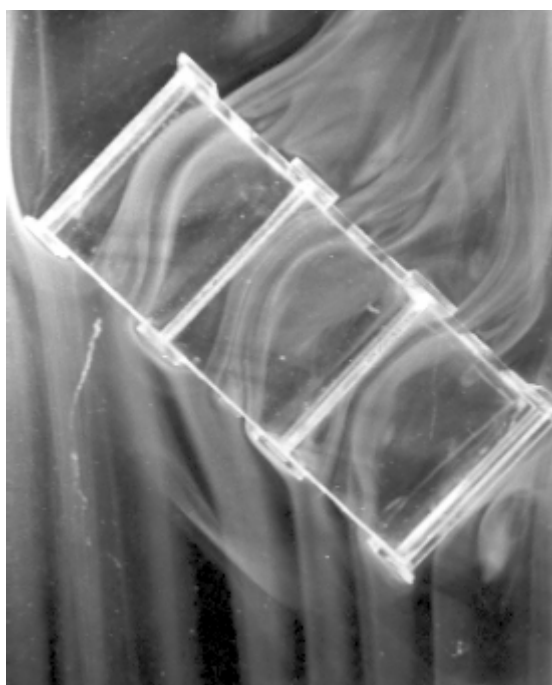


Fig. 87: Viento del Noroeste

El primer tipo de viento que se analizó fue el Noroeste ya que es el que se presenta con mayor frecuencia (Fig. 87), el ángulo con el que hace impacto sobre la superficie de la fachada es de

45°, mismo que permite una buena penetración dentro de las aulas sin embargo el área que es ventilada perfectamente es de aproximadamente el 50% del área total del aula, la otra mitad del aula se ventila por momentos pero no de manera sostenida. La parte frontal del aula es la que tiene la ventilación menos favorable y es la que tienen menor densidad de bancas por ser un área de circulación, se debe procurar que en modificaciones a las aulas se mantenga esta disposición de bancas respecto a las áreas ventiladas.

La prueba en el túnel de viento (fig. 88) también mostró un mejor comportamiento del viento en el interior de la maqueta con respecto a las pruebas realizadas cuando el viento incidía desde la dirección Oeste y pasaba perpendicular a la orientación de la fachada.

Los dos vientos que siguen para La Paz en orden de frecuencia son los Norte y Sur que son los que mejor se comportan para ventilar de manera natural. La disposición de los vanos en aulas del CAPFCE actúa de manera igual para ambas direcciones (fig. 89), por eso una misma ilustración nos describe la situación para ambos vientos, en este caso alrededor de 2/3 partes del aula son ventiladas de manera sostenida por el viento siempre y cuando éste no cambie de dirección.

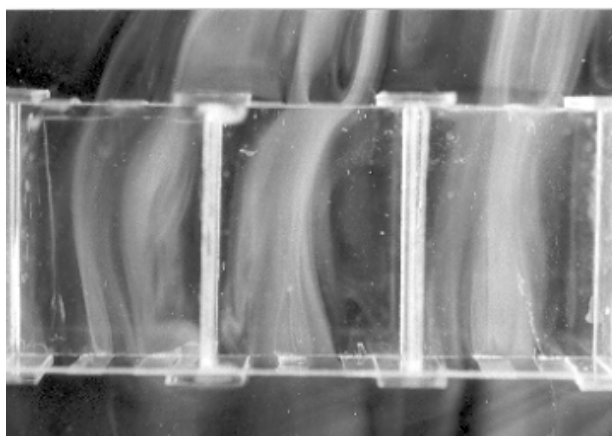


Fig. 88: Viento del Noroeste

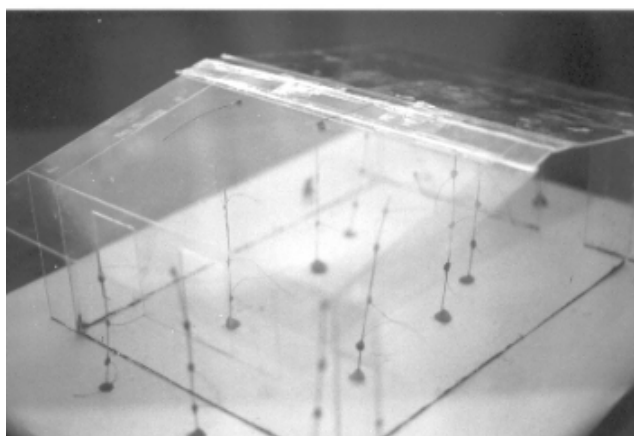
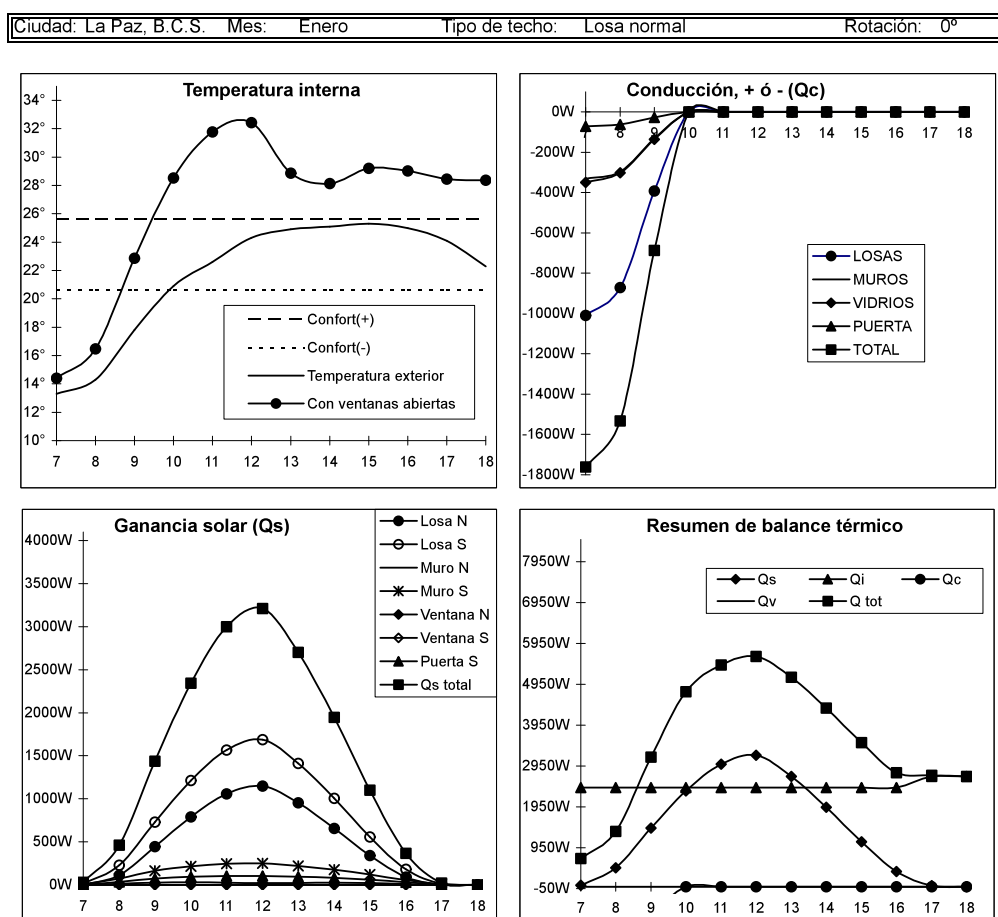


Fig. 89: Viento del Norte y Sur

6.3.8 BALANCE TERMICO EN LA PAZ

Balance térmico en aulas del CAPFCE en situaciones actuales en el mes de: ENERO (figura 90): Se ha escogido a Enero por ser el mes con menor temperatura media mensual. En este mes la temperatura exterior nunca está por encima del nivel máximo de confort.

No obstante el aporte térmico interno eleva los niveles de temperatura por encima del máximo permisible. Los vientos en este mes tienen regular incidencia sobre la orientación de las ventanas y pueden disipar calor generado por el metabolismo de los alumnos que para este mes es la mayor fuente de sobrecalentamiento. Las primeras horas del día tienen temperaturas externas por debajo del nivel de confort pero la ganancia interna hace que desde la primera hora de clases el salón gane el suficiente calor para eliminar los problemas de frío. La ganancia solar solo logra desplazar a la ganancia interna al medio día y esta ganancia se canaliza fundamentalmente por medio de las losas. Se puede establecer que este mes tiene pocos problemas de sobrecalentamiento siempre y cuando el viento coincida con la orientación de las ventanas.

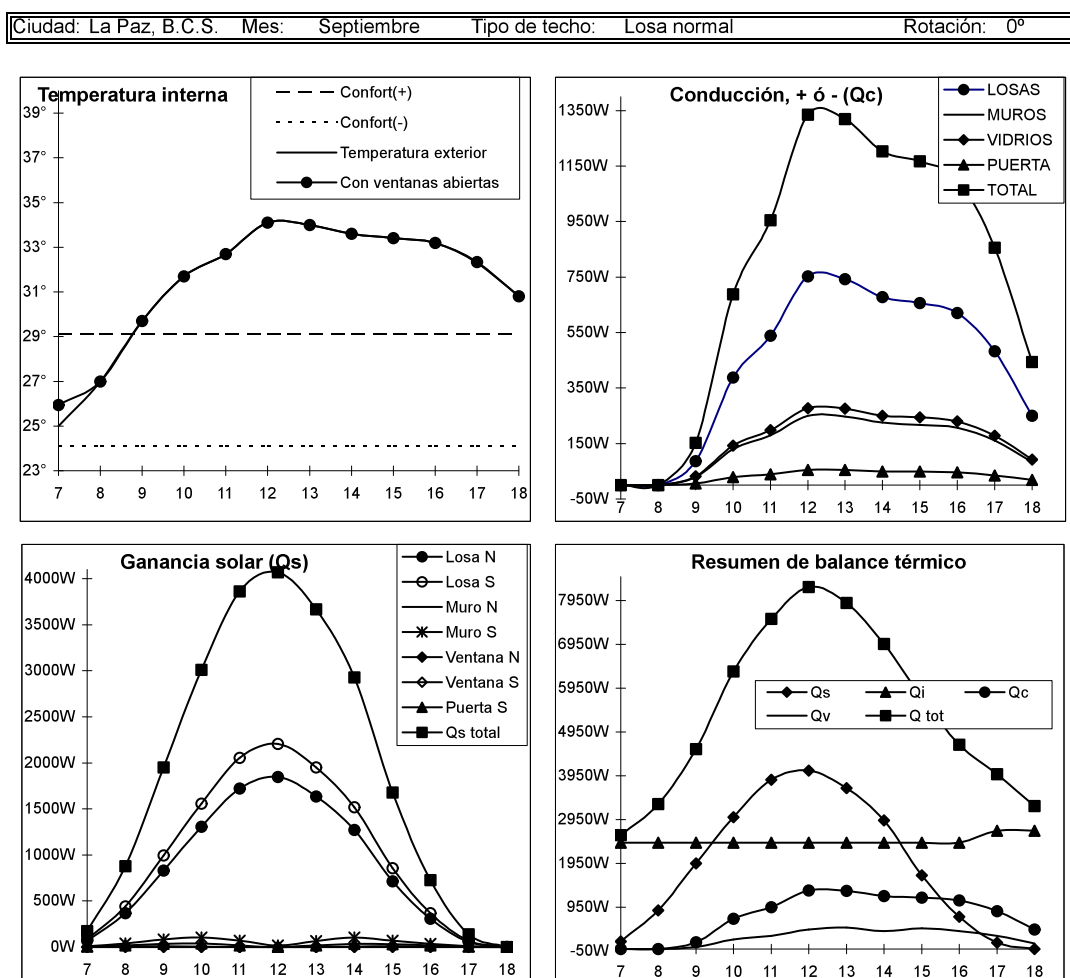


Q_c = Ganancia/pérdida x conducción, Q_i = ganancia interna Q_s = ganancia solar, Q_v = Ganancia/pérdida x infiltración

Figura 90, Temperaturas en aulas actuales de La Paz (Enero): Las primeras horas del día registran pérdidas por conducción pero después se estabilizan para el resto de la jornada, las losas tienen diferentes niveles de captación solar pero en conjunto son los elementos que más Q_s generan, los principales aportes térmicos son la ganancia interna y la solar dependiendo de la hora, la coincidencia de los vientos con las ventanas hace que la mayor parte del día sea imposible disipar el calor.

Balance térmico en aulas CAPFCE en situaciones actuales en el mes de: SEPTIEMBRE (fig. 91): Septiembre es el mes más conflictivo en La Paz ya que cuenta con temperatura media más alta dentro del periodo lectivo, es el que tiene mayor humedad relativa, sin embargo es cuando la dirección de los vientos dominantes concuerdan con la orientación de las ventanas y se puede disipar calor. Este mes muestra niveles de incomodidad poco satisfactorios.

Este es también uno de los meses en que el sol impacta con mayor intensidad a las losas en las horas cercanas al medio día (más de la mitad de la jornada) este factor supera a la ganancia interna. La ganancia solar es mucho mayor en losas, a través de ellas se percibe una ganancia por conducción, para este mes se puede considerar que el punto débil del aula es la losa y que la ventilación pueden prestar poca ayuda ya que el aire exterior esta por encima del nivel de confort.



Q_c =Ganancia/pérdida x conducción, Q_i =ganancia interna Q_s =ganancia solar, Q_v =Ganancia/pérdida x infiltración

Figura 91, Temperaturas en aulas actuales de La Paz (Septiembre): La mayor parte del día se percibe ganancia por conducción principalmente por medio de losas. Las ganancias más grandes a lo largo del día siguen siendo la interna y la solar pero en este mes no aventajan por mucho a la ganancia por conducción. A pesar de la buena ventilación la temperatura es alta casi todo el día ya que el aire exterior es caliente.

6.4 CONCLUSIONES DE LAS AULAS ACTUALES EN LA PAZ

Las condiciones que se tomaron en cuenta para la evaluación de esta ciudad fueron el caso de un aula intermedia al igual que en el caso de Acapulco y una ocupación de 27 personas en vez de los 40 que el CAPFCE tiene estipulado como máximo y se consideró abiertas a todas las ventanas posibles.

6.4.1 GANANCIAS TERMICAS

El estudio de modelos matemáticos para esta etapa de la investigación reveló que el aporte recibido por medio de la radiación solar a través de los cristales de la envolvente constructiva es bajo en comparación de otras fuentes de ganancia térmica.

Las ganancias térmicas más importantes varían dependiendo la hora para todos los meses, pero se puede generalizar diciendo que a las doce del día, la mayor ganancia es la solar, misma que no es admitida no por medio de los vidrios ya que a esa hora no reciben radiación alguna. Esta protección generada por los voladizos que tienen las aulas tipo dejan a la sombra a la totalidad de los cristales para esas horas. El medio por el que penetra la radiación solar son las losas, en primer lugar la losa Sur pero en segundo lugar con una magnitud muy similar esta la losa Norte. Esta ganancia solar por losas es más importante en los meses más cercanos al solsticio de verano, 21 de Junio, tanto por su intensidad como por la cantidad de horas que se mantiene superando a cualquier otra contribución térmica. En estos meses llega a ser la ganancia principal desde media mañana hasta bien entrada la tarde mientras que en los meses de invierno solo mantiene su posición como mayor ganancia por un escaso lapso de 2 horas, 1 antes del mediodía y la otra después.

En la comparación de todas las ganancias solares se puede apreciar que a lo largo del año la principal aportación térmica es por mucho la producida por las losas, la suma de las dos losas es mas de las tres cuartas partes del total. Esta predominio de las losas se incrementa en los meses en que la radiación llega de manera casi perpendicular, para los meses de invierno se llega a destacar una leve contribución de la ganancia por medio de muros ya que el ángulo de altura solar es menor y cierta cantidad de radiación empieza a incidir sobre los muros en detrimento de las losas.

La ganancia interna se mantiene constante para la los diversos meses del año y casi para todas las horas del día con la excepción de las últimas horas del día en que el uso de lámparas se incrementa de manera poco significativa. La constancia de la ganancia térmica interna puede considerarse como estable y la escasa injerencia de las ganancias o pérdidas por conducción hacen que el factor que modifica con mayor facilidad el balance térmico final sea la cuestión solar ya que es la que tiene mayores fluctuaciones a lo largo del día y a lo largo de los meses.

Se puede considerar que para el caso de esta ciudad no hay una ganancia térmica que mantenga un constante nivel de superioridad en todas las estaciones. En todo el año las horas cercanas al medio día ganan más calor por medio del sol pero en los meses más cálidos la duración de este lapso de horas es mayor que en el invierno.

Las dos principales fuentes de calor para las aulas de ciudad de La Paz que requieren ser reducidas son la ganancia solar (losas Norte y Sur) y la ganancia interna (metabolismo de usuarios).

6.4.2 ILUMINACION EN LA PAZ

Las conclusiones sobre iluminación son idénticas a las del caso de estudio del cálido húmedo por los motivos de similares condiciones de análisis anteriormente señalados.

6.4.3 VENTILACION

La ciudad de La Paz no requiere forzosamente un cambio en la orientación de sus aulas puesto que tiene una mayor diversidad de vientos dominantes y no es lo más adecuado procurar a una dirección en especial. Todos los vientos dominantes de esta ciudad tienen la posibilidad de penetrar la situación actual en diversos ángulos de impacto. Las situaciones en que los vientos no pueden penetrar al interior del aula en la actual orientación son poco frecuentes y comúnmente se trata de las primeras horas del día cuando no se necesita tanto la ventilación (fig. 90). Las dos mejores orientaciones para esta población son la original norte-sur y el aula girada en 22.5° sobre el eje actual. Estas dos orientaciones ofrecen similares posibilidades de ventilación natural y se sugiere realizar un análisis adicional mediante balance térmico para determinar cual de las dos es más viable.

HORARIOS DE VENTILACION DEFICIENTE (LA PAZ)										
Hora	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	SEP	OCT	NOV	DIC
7:00										
8:00										
9:00										
10:00										
11:00										
12:00										
13:00										
14:00										
15:00										
16:00										
17:00										
18:00										

Fig. 92: Periodos horarios en que el viento no incide contra las ventanas (La Paz)

6.4.4 CONFORT HIGROTÉRMIICO ACTUAL EN LA PAZ

La temperatura interna en aulas para esta ciudad es elevada para la mayoría de los periodos de clase a lo largo del año.

Los meses más cálidos del año solamente disfrutan de condiciones óptimas de temperatura durante las dos primeras horas de clase mientras que para el resto del día tienen un constante problema de exceso de calor.

El clima de esta ciudad tiene claras variaciones de temperatura según la estación. A pesar de que la mayor parte del año se tienen problemas de sobrecalentamiento es común experimentar sensación de frío al interior de las aulas en los meses de invierno. Esta situación de frío suele durar únicamente durante las primeras horas de clase para después permanecer por un breve lapso dentro de los límites de confort y posteriormente se restablece la sensación de calor.

El problema de sobrecalentamiento es predominante a lo largo de todos los meses de año por lo que se recomiendan un nuevo diseño que disminuya los niveles de calor al interior de las aulas.

CAPITULO VII

COMPARACION DE RESULTADOS

7.1 CONCLUSIONES DE LOS CLIMAS DE ACAPULCO Y LA PAZ

7.1.1 TEMPERATURA

Los dos climas a analizar tienen la similitud de que su principal problema es la temperatura alta. Sin embargo difieren en la constancia de sus valores a lo largo del año. La sensación de calor en espacios exteriores es constante casi todo el tiempo en los climas cálido húmedos donde la alta humedad ambiente es responsable de la constancia de la temperatura. El clima cálido seco no presenta problemas de calor en los meses de invierno pero las temperaturas se incrementan en el verano hasta superar a los valores del clima cálido húmedo (figura 93).

En ambos casos se tiene como principal problema al calor. Las situaciones de frío son escasas y no llegan a niveles que hagan requerir el uso de sistemas de calefacción dentro de aulas.

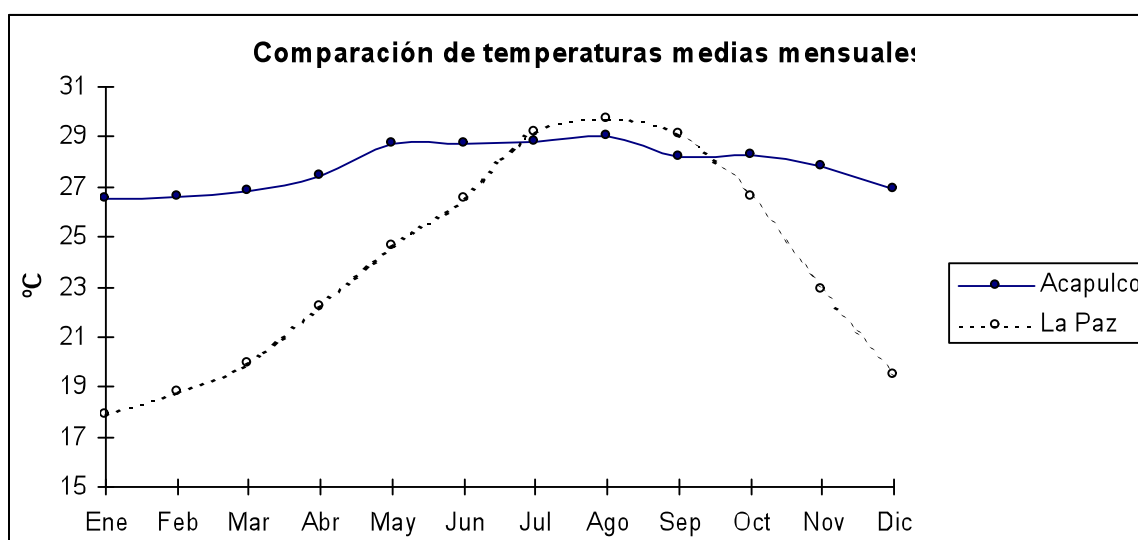


Figura 93: Temperaturas de ambas ciudades, Fuente S.M.N.

Oscilación térmica

La ciudad de Acapulco presenta una baja oscilación térmica tanto a lo largo del año como a lo largo del día, la diferencia entre los momentos más fríos y más calientes no supera a los 9°C (fig. 94). La Paz tiene una oscilación moderada que puede alcanzar hasta 15.8° en sus meses más pero no coincide con el más cálido.

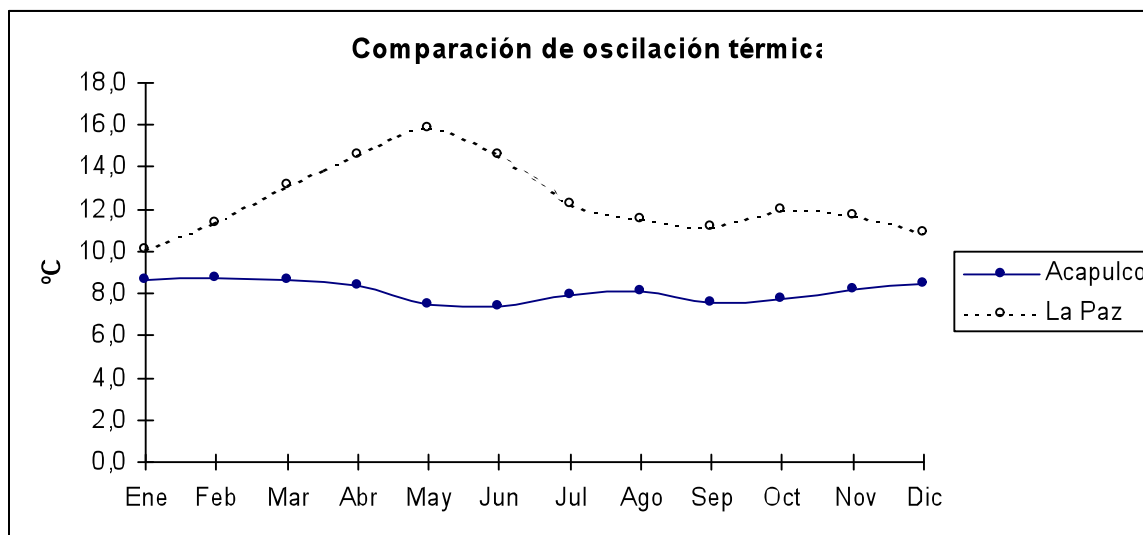


Figura 94: Oscilación térmica en los dos casos de estudio, Fuente S.M.N.

7.1.2 Humedad relativa

La constancia de altas cantidades de humedad en el ambiente es responsable de que Acapulco presente bajos niveles de oscilación térmica en el transcurso del día y en el transcurso del año (fig. 95). El caso de La Paz resulta ser un tanto atípico dentro su clima cálido seco pues su principal característica es la escasa humedad ambiente. Sin embargo su cercanía con el mar se alcanzan niveles de humedad superiores a los de otros desiertos. Al comparar estos casos se puede constatar que no existen diferencias significativas en la humedad relativa media con una diferencia de 12.8% en promedio.

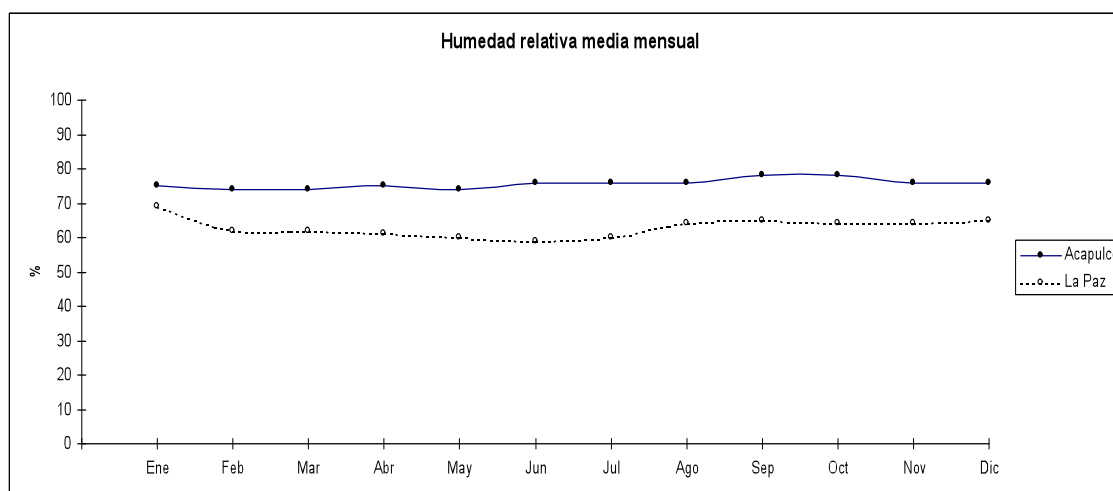


Figura 95: Humedad relativa en los dos casos de estudio, Fuente S.M.N.

7.1.3 INSOLACION

La diferente latitud de ambas ciudades origina que el sombreado que los volados proveen a lo largo del año varíe de manera significativa. La ciudad de Acapulco (fig. 96) goza de una adecuada protección solar para ventanas a las doce del día para casi todo el año, solamente los días más cercanos al solsticio de invierno registran una infiltración que si bien no es necesaria tampoco es significativa. La ciudad de La Paz (fig. 97) tiene una mayor penetración en invierno pero esta ciudad carece de problemas de calentamiento en dicha temporada y el resto del año la radiación es interceptada por las losas. Ninguno de los dos casos recibe radiación solar por ventanas en verano para las horas cercanas al medio día. Se considera que las dimensiones de los actuales volados son adecuadas y no requieren ser modificadas.

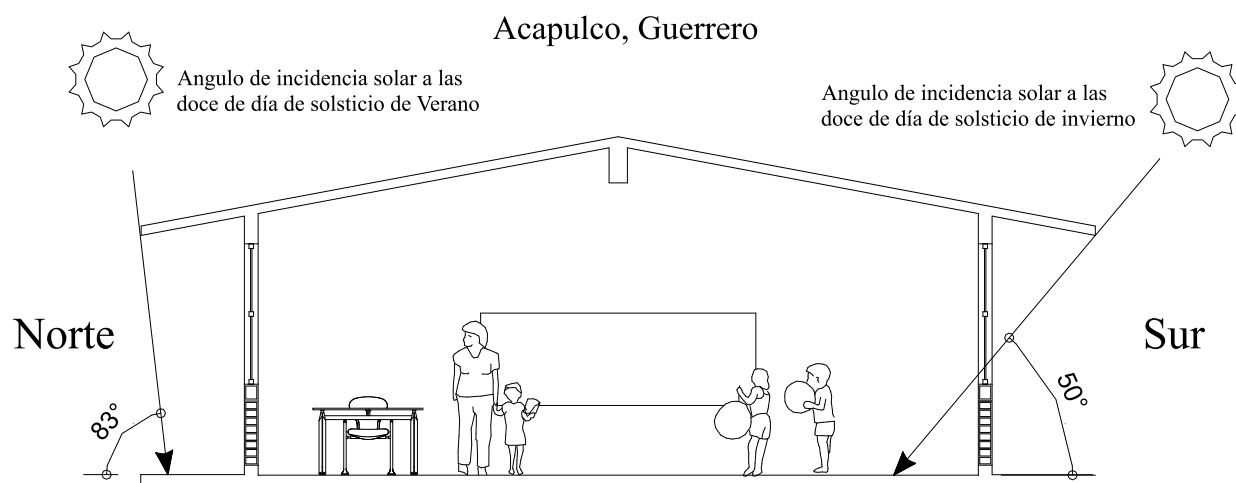


Figura 96: Insolación en aulas de Acapulco

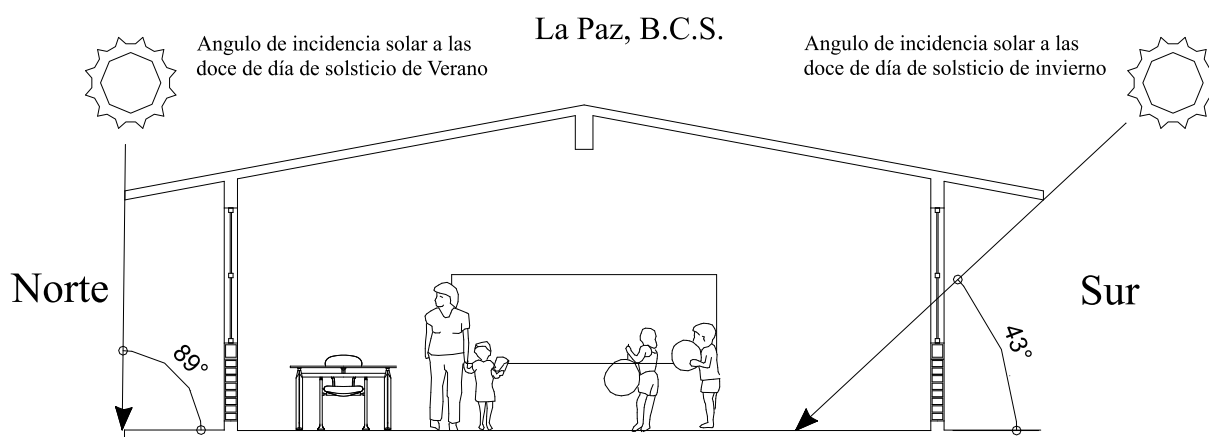


Figura 97: Insolación en las aulas de La Paz

7.1.4 VIENTOS

Acapulco tiene un viento dominante bastante definido mientras que La Paz tienen dos direcciones de viento que tienen un virtual empate en la frecuencia con que se presentan. La ciudad de Acapulco (figura 98) cuenta con velocidades de viento mayores que comúnmente rebasan los 3 metros por segundo mientras que la ciudad de La Paz rara vez supera a los 3m/s.

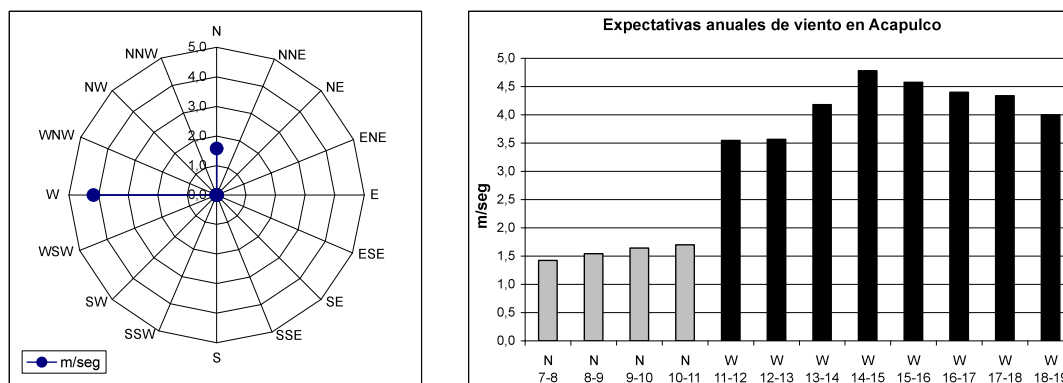


Figura 98: Vientos dominantes en Acapulco, Fuente S.M.N.

Acapulco tiene un viento dominante proveniente del Norte desde la primera hora de clases hasta las 11:00 A.M., el resto de la jornada es dominado a lo largo de año por lo vientos Oeste (W). La velocidad del viento Oeste suele ser considerablemente mayor al viento Norte.

La Paz suele tener en las dos primeras horas de clase vientos diversos y calmas (figura 99). Las cinco horas más cercanas al medio días tienen predominio de vientos Noroeste (NW), el resto de la tarde y de la mañana tiene mayor frecuencia de viento Norte o Sur. De ello podemos concluir que las aulas de la ciudad de Acapulco deben reorientarse tomando en cuenta una sola dirección de viento que es la dominante en la mayor parte el día y la ciudad de La Paz debe buscar una nueva orientación que logre captar dos direcciones que se presenta con similar frecuencia.

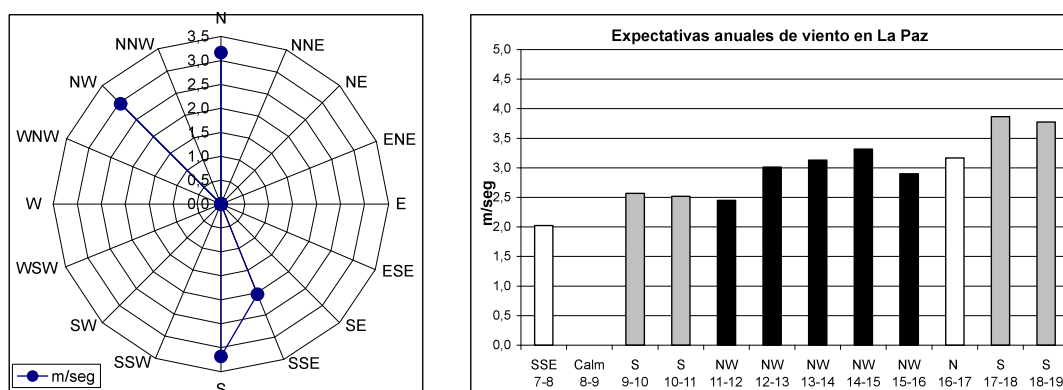


Figura 99: Vientos dominantes en La Paz, Fuente S.M.N.

7.2 EVALUACIONES CLIMATICAS

7.2.1 CARTA PSICROMETRICA (FIG 100)

La carta psicrométrica de Acapulco nos muestra que en ninguna época del año es recomendable el aumento de la humedad en el ambiente para disminuir la temperatura puesto que la humedad relativa ya es muy alta y no es capaz de actuar eficazmente en los meses más cálidos del año que es cuando más se necesitan, incluso en los meses más fríos del año la humedad mínima suele sobrepasar el 60%. En la ciudad de La Paz es recomendable humedecer del ambiente para disminuir la temperatura en la mayor parte del año que tiene problemas de sobrecalentamiento. Este sistema puede ser particularmente efectivo en el mes de Abril que tiene gran temperatura muy baja humedad relativa. A diferencia de Acapulco, la ciudad de La Paz tiene meses fríos en que la temperatura exterior requiere un ligero calentamiento en la madrugada.

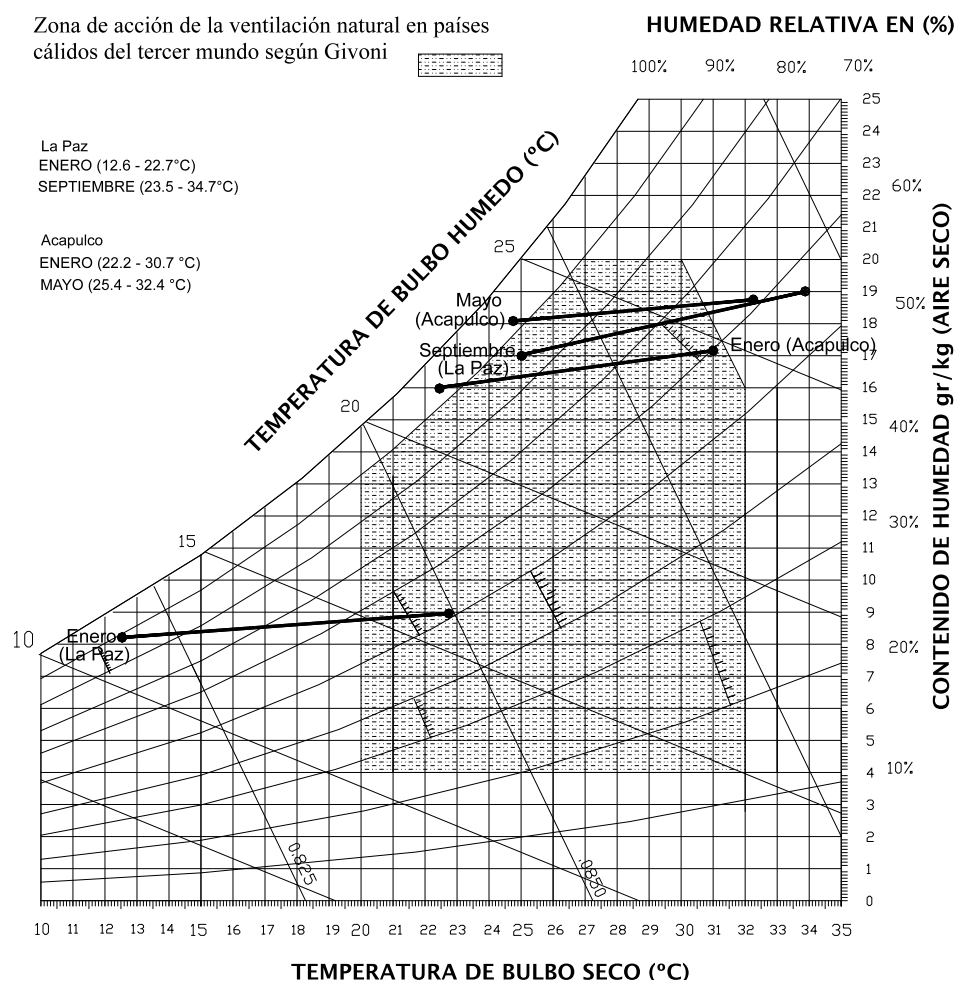


Figura 100: Carta psicrométrica de Acapulco y La Paz

7.2.2 CARTA BIOCLIATICA (FIGURA 101)

La interpretación de la carta bioclimática de Acapulco nos indica que es posible restablecer la sensación de confort a lo largo de todo al año mediante el uso de ventilación de velocidad inferior a los 2 m/s. En más de la mitad del año es suficiente 1 m/seg para disminuir la sensación de incomodidad. Los requerimientos de calentamiento al aire libre son pequeños en los horarios en que se presentan las clases. Debido a los altos índices de humedad y de temperatura se requiere todo el año disminución de calor por ventilación. La carta bioclimática de La Paz muestra gran variación a lo largo del año en los diversos parámetros que considera. Se presentan casi con igual frecuencia las situaciones al aire libre que requieren calentamiento o enfriamiento.

En conclusión la situación en Acapulco tiene requerimientos constantes de enfriamiento mientras que la ciudad de La Paz solo alcanza niveles altos de calor en los meses de verano.

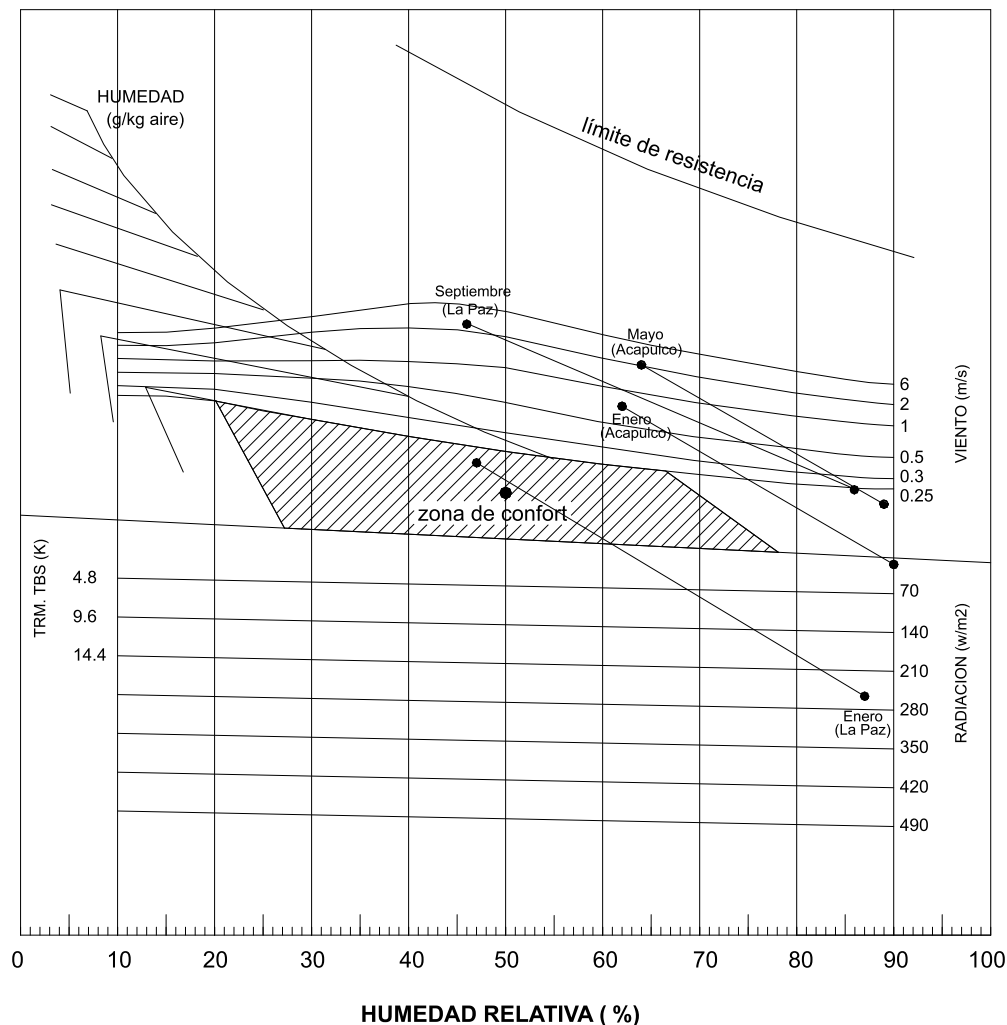


Figura 101: Carta bioclimática de Acapulco y La Paz

7.2.3 BALANCE TERMICO

El cálculo realizado mediante balance térmico para determinar la temperatura interna actual y el análisis de factores más importantes dio como resultado que para ambas ciudades las dos principales fuentes de aumento de temperatura son la radiación solar a través de conducción en losas y la ganancia interna. En contra de lo planteado en las primeras hipótesis la ganancia solar a través de los cristales tuvo un valor marginal en el balance térmico. El análisis de estas causas dentro de los distintos momentos del año y del día indica que la ganancia solar es mayor a la interna en las horas cercanas al medio día y el resto del día el mayor aporte se percibe a través del metabolismo de los usuarios. Para ambas ciudades el verano es la estación con mayor cantidad de periodos horarios donde la principal ganancia es solar. La diferencia entre ambas ciudades se puede percibir al comparar la cantidad de horas con predominio de ganancia solar entre las diversas estaciones del año. Para los meses de invierno el balance térmico de ambas ciudades es muy similar. Sin embargo para los meses de verano se puede percibir en La Paz un claro aumento de las ganancias por radiación mientras que en Acapulco la relación se mantiene constante a lo largo del año.

7.2.4 CIELO ARTIFICIAL

Las pruebas de cielo artificial fueron iguales para los dos casos de estudio debido a los similares criterios de diseño para todas las localidades del país y por haber sido examinados bajo el mismo valor de iluminación exterior. El resultado en ambos casos es una buena iluminación media para toda el área de las aulas pero presentando apreciables fluctuaciones de intensidad en los diferentes sensores instalados. Las lecturas más bajas fueron en ambas ciudades inferiores al 20% del promedio por lo que no se consideras ideales.

7.2.5 VIENTO

Las pruebas de viento se practicaron a maquetas de las aulas actuales y fueron sometidas al impacto de los vientos dominantes de sus respectivas localidades, cuando se trató del único viento dominante que comparten las dos ciudades, el viento Norte, el efecto en las maquetas fue naturalmente idéntico ya que los diseños también lo son. Sin embargo el estudio de Acapulco reveló que su principal viento dominante tiene una penetración casi nula en las aulas y solamente recibe buena ventilación durante las primeras horas. El caso de La Paz es bastante más benigno,

los dos principales vientos inciden de manera perpendicular y a 45° de la fachada, ambos ángulos son bastante efectivos para disipar el calor.

La situación final de confort interior se encuentra para la mayor parte del año por encima de los límites de confort establecidos según la fórmula de Szokolay. El caso de Acapulco es de sobrecalentamiento para todo el año después de las 4 primeras horas de clase, sin embargo este exceso de calor no suele sobre pasar los 6°C del límite superior de confort tanto en la temporada de frío como en la temporada de calor. Esta ciudad tiene niveles de incomodidad uniformes a lo largo del año.

La ciudad de La Paz tiene situaciones de confort interior aceptables para los meses de invierno donde la temperatura externa y la congruencia de la dirección de los vientos dominantes mantiene estable la temperatura. Por otra parte los meses de verano se llega a sobrepasar el límite de confort hasta por 12 °C debido a la radiación solar de esa época y a la poca eficiencia de la dirección de los vientos con la orientación actual de las aulas.

En general se puede decir que Acapulco tiene una moderada situación de incomodidad que se mantiene constante a lo largo de todo el año; mientras que La Paz tiene un invierno relativamente benigno que contrasta claramente con unas condiciones muy difíciles de verano.

CAPITULO VIII

PROPUESTA DE ADECUACION BIOCLIMATICA PARA ACAPULCO

8.1 ESTRATEGIAS DE DISEÑO EN ACAPULCO

8.1.1 ESTRATEGIAS DE ENFRIAMIENTO

Debido a la naturaleza del clima cálido húmedo de Acapulco no es aconsejable el uso de masividad por la escasa oscilación térmica. En estos climas la mejor estrategia para disipar el calor es la ventilación, que se abordará más adelante además de la disminución de ganancia térmica por radiación solar. En el capítulo anterior se demostró que la ganancia solar a través de muros y superficie de acristalamiento es baja y que la mayor penetración en la envolvente constructiva es principalmente por la losa, de acuerdo a esto tenemos que buscar un tipo alternativo de losa que minimice el paso de la radiación solar a través de ella. La arquitectura vernácula local utiliza materiales aislantes como las hojas de palma seca para techar sus construcciones (Fig. 102) este material permite que la parte inferior se mantenga bastante fresca pues no acumula calor ni permite su paso.



Fig. 102: Casa típica de la región costera del Sur de Guerrero y el Norte de Oaxaca (Manialtepec), el techo de palma impide de manera eficaz la penetración de radiación, los muros de bajareque son legado de grupos provenientes de África.



Fig. 103: Arquitectura vernácula de la región maya (Santa Elena, Yucatán) este tipo de casa se construye prácticamente igual desde la época de los mayas.

La efectividad de estos materiales aislantes es tal que se siguen usando a la fecha en construcciones modernas (Fig. 103) de las costas con clima cálido húmedo en México. Hoy en día son pocos los materiales para techar con mejores características de aislamiento térmico. Materiales como la palma real cuya conductividad térmica es de $0.39 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ o la fibra de coco ($0.28 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) son más efectivos que el ferrocemento, $0.59 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (Alavez, 2004).

Sin embargo, aun cuando el uso de la palma es ideal, no es viable como sistema de techado de losa de las aulas del CAPFCE por varios factores, su costo ya ha rebasado al de otros materiales, permite las goteras, suele ser invadido por insectos y su vida útil es menor a 10 años.

La solución entonces es buscar materiales comerciales que tengan las características de aislamiento térmico y un escaso aumento al costo total de la obra. Estos materiales constructivos análogos pueden sustituir por completo a la losa de concreto o bien pueden ser adjuntados a la superficie de las losas tanto en la cara interior como en la exterior sin cumplir ninguna función estructural.

Es también aconsejable reducir el nivel de reflectancia del suelo exterior cercano a los muros ya que la energía solar recibida en Verano por m^2 de suelo casi duplica a la total por m^2 en los muros Este y Oeste. La radiación que el suelo refleja hacia las ventanas y muros es una porción significativa de la ganancia total del edificio (Watson & Camous, 1983)

8.1.2 ESTRATEGIAS DE VENTILACION EN ACAPULCO

El capítulo anterior ha demostrado que para las aulas CAPFCE de la ciudad de Acapulco el principal problema de ventilación es que la orientación de las ventanas no corresponde con la orientación de los vientos dominantes, al menos no en las horas con mayor carga térmica cuando más se requiere la ventilación natural. Es necesario mejorar la incidencia de los vientos al interior de las aulas, mediante la manipulación de la orientación de las edificaciones o por disposición de elementos conductores del viento, las alternativas son:

- Construcción de muros adosados en varios ángulos para desviar los vientos hacia el aula
- Escalonamiento de la disposición de cada sala en cada núcleo de aulas
- Rotación de las fachadas en distintos ángulos

Adicionalmente al aumento de la penetración por las ventanas se puede dotar al diseño de aulas de salidas de aire ubicadas en la parte superior cuya función es evacuar el aire más cálido que por efecto de diferencia de presión tenderá a salir por allí. Este tipo de salidas de aire son muy frecuentemente utilizadas en la arquitectura vernácula de los climas cálidos húmedos. De hecho sigue siendo común en los diseños modernos de esos lugares (Fig. 105) se ha utilizado con éxito en diversos lugares del mundo, por ejemplo en la cultura Batak, en el norte de Sumatra, Fig. 104

donde construcciones con forma de montura tienen aislante en el techo fabricado con palma y una buena ventilación mediante aperturas en el techo (Behling 2000).



El techo de palma disminuye la ganancia térmica por medio de radiación solar y la

Fig. 104: Casas de la cultura Batak, Sumatra



parte superior tiene un hueco que permite que el aire más caliente de la parte inferior sea disipado por medio de diferencia de presión y por el viento.

Fig. 105: Casa en Puerto Escondido, Oaxaca

Para mejorar la ventilación exterior se requiere evaluar cual es el ángulo ideal al que tiene que ser girada la fachada para captar mejor los vientos dominantes de las horas con carga térmica pico. Se debe tomar en cuenta el efecto del asoleamiento para aulas que puede aumentar de manera significativa la cantidad de radiación que pase al interior por muros y ventanas.

Una alternativa para aumentar la eficiencia de los vientos para disipar el aire cálido por medio de las oquedades superiores de las losas es aumentar su pendiente para crear un efecto Venturi que le conceda más velocidad al viento que pasa por encima de la cumbrera de las aulas.

8.1.3 ESTRATEGIAS DE ILUMINACION EN AULAS

Interior de las aulas:

Debido a que una buena iluminación es de vital importancia para el buen aprovechamiento de aulas se sugiere tomar medidas para mejorar su calidad a pesar de que el estudio realizado en las aulas indica que ya tienen aceptables niveles de luminancia natural.

El objetivo de las mejoras es el aumento de la potencia y la uniformidad de la iluminación. La principal técnica sugerida para lograrlo es la disposición de una entrada adicional de luz en el área central del techo.

Se sugiere también el empleo de colores claros tanto en muros como en paredes y en general, hacer caso a las recomendaciones ya mencionadas en capítulos anteriores.

Exterior de las aulas:

También hay técnicas para mejorar la iluminación de un espacio interior que se aplican en los espacios exteriores, la manipulación del color de las superficies verticales y horizontales aledañas a las ventanas son de gran injerencia en la calidad de la iluminación, el efecto se logra mediante la reflexión de los rayos solares sobre dichas superficies para penetrar de manera indirecta hacia el espacio habitable pero con una menor capacidad para calentar que la radiación a través de los cristales, los colores claros pero en especial el blanco son los indicados para incrementar la cantidad de luz que entra sin necesidad de aumentar la radiación solar directa hacia el interior, la fig. 106 explica como funciona este método mediante un corte arquitectónico del Solar Energy Research Facility del National Renewable Energy Laboratory en Golden, Colorado, E.E.U.U. en este caso los rayos solares son reflejados únicamente en superficies horizontales que se encuentran junto a la zona de acristalamiento y mediante reflexiones se introduce la iluminación sin necesitar la penetración de radiación directa.

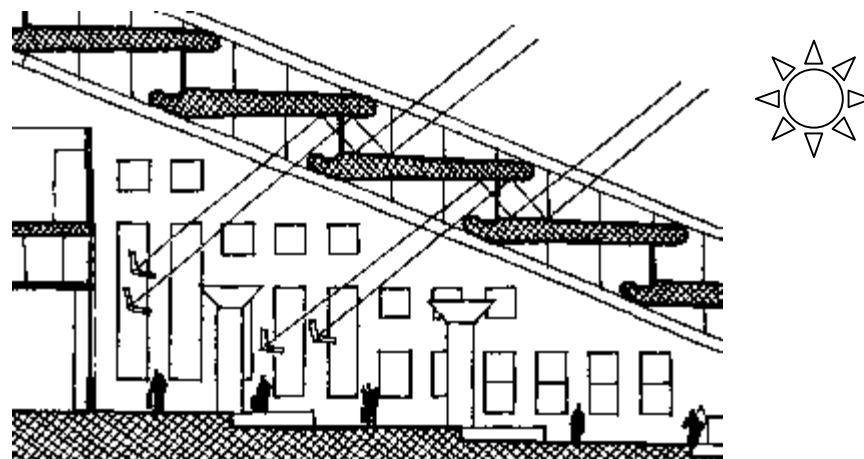


Fig. 106: Sistema de iluminación natural en el NREL, E.E.U.U.

El color con que se pinte a todas las superficies es importante, ya que cuando un espacio interior recibe iluminación de un espacio exterior ambos lugares requieren tener superficies que reflejen la luz tanto como sea posible (Brown & DeKay, 2001), la reflectividad de los colores más

Blanco al óleo: 0,7 - 0,85	Revest. Blanco 0,70 - 0,85	Revest. Amarillo: 0,5 - 0,7
Revest. rojo: 0,3 - 0,5	Revest. Gris o marrón: 0,25 - 0,5	Revest. Verde o azul: 0,15 - 0,45
Negro: 0,02 - 0,04	Cemento: 0,20 - 0,30	Ladrillo rojo: 0,15 - 0,25

comunes es referida en la siguiente tabla, fig. 107 (Neufert, 1993).

Fig 107: Niveles de reflectividad de los colores

La efectividad de estos valores puede variar considerablemente con la humedad de la superficie del material y del ángulo de incidencia de la luz, mientras mayor reflectividad tenga un material mayor será la iluminación de su alrededor. Se puede observar la ventaja que tienen los colores blanco y amarillo para mejorar las condiciones de aprovechamiento de la luz exterior por lo que se sugiere que se utilice cualquiera de estos dos colores en exteriores para mejorar la iluminación interior. Esta estrategia de iluminación requiere un previo estudio de condiciones de iluminación natural donde se haga constar que efectivamente se requiere mejorar su calidad, ya que en climas cálidos puede contribuir a elevar la temperatura del interior del espacio.

8.2 PROPUESTAS DE DISEÑO

8.2.1 PROPUESTA DE ENFRIAMIENTO EN ACAPULCO

Las conclusiones del capítulo anterior ponen en evidencia que la forma más rentable de mejorar las condiciones de confort de este clima es la disminución de los aportes térmicos producto de la radiación. El elemento constructivo que debe ser aislado es la losa ya que el aislamiento en muros proporcionaría una pobre mejoría y su costo impactaría de manera desfavorable la construcción de aulas. Se propone evaluar mediante un cálculo de balance térmico la efectividad de varios materiales que puedan disminuir el paso de la radiación solar, se ha pensado en materiales que fácilmente puedan ser adquiridos, las opciones de losas que serán comparadas son:

- Cambiar la losa tradicional de concreto armado de 10 cms de espesor por las losas hechas a base de paneles de poliestireno de 5 cms (Fig. 108) de espesor y que llevan un recubrimiento de 7.5 cms de cemento (tipo Convitec, MG, W, etc.) Este sistema tiene propiedades aislantes superiores a las losas de concreto.

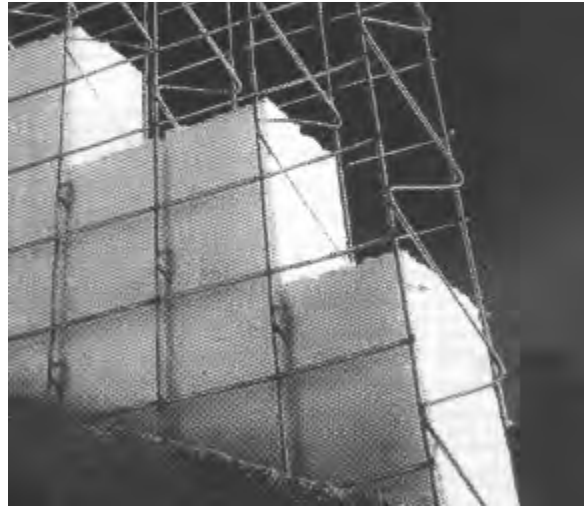


Fig. 108: Panel de poliestireno Foto: Panel MG

- Se propone analizar el desempeño del mismo sistema de losas pero utilizando la presentación de paneles aislantes de poliestireno de 10 cms de espesor para decidir cual de las dos presentaciones tiene el mejor desempeño energético en comparación con su precio.
- Recubrimiento de poliuretano de 5 cms de espesor sobre losas, este sistema es sumamente eficiente para aislar térmicamente, por lo que se analizará cuidadosamente su rentabilidad.
- Se considera la posibilidad de sombrear la losa para neutralizar toda la incidencia solar.

Las características termofísicas de los materiales alternos que se proponen son las siguientes:

- Poliestireno (5 y 10 cms de espesor)
25 kg/m³ de densidad, 340 J/kg°C de calor específico, $k = 0.035$ W/m°C de conductividad
- Poliuretano (2.5 cms de espesor)
30 kg/m³ de densidad, 450 J/kg°C de calor específico, $k = 0.016$ W/m°C de conductividad

La comparación se expresa en gráficas que describen el comportamiento de materiales, la primera pareja conformada por el aula sombreada y por el recubrimiento de poliuretano ya que son los que pueden proveer de mejor disminución de la radiación solar. En la segunda pareja se analizan las dos espesores de los paneles de poliestireno por ser el mismo material.

Los aspectos a ser considerados en la comparación son: ganancias o pérdidas por conducción (Q_c), ganancia solar por elementos (Q_s) y resumen total de balance térmico.

Se diagnosticará la eficiencia total de cada material y por último se hará un balance para comparar la eficiencia de cada propuesta contra su costo y se seleccionará a la opción que sea más rentable.

8.2.2 PROPUESTA DE VENTILACION EN ACAPULCO

Otra forma de disminuir la temperatura es empleando la ventilación cruzada en las aulas actuales de CAPFCE. En el caso de aulas para la ciudad de Acapulco no es posible debido a la escasa congruencia entre los vientos dominantes y la orientación de las ventanas. Se analizaron varias alternativas para mejorar la ventilación natural y se han formado dos grupos de propuestas.

En el primer grupo se diseñaron varios prototipos de aulas modificadas bastante parecidas a las originales del CAPFCE pero provistas de sistemas para captar con mayor facilidad los vientos dominantes (Fig. 109).

En el segundo grupo consideró pertinente la evaluación del mismo diseño actual de las aulas solamente girando su orientación original para que pueda satisfacer la demanda de ventilación.

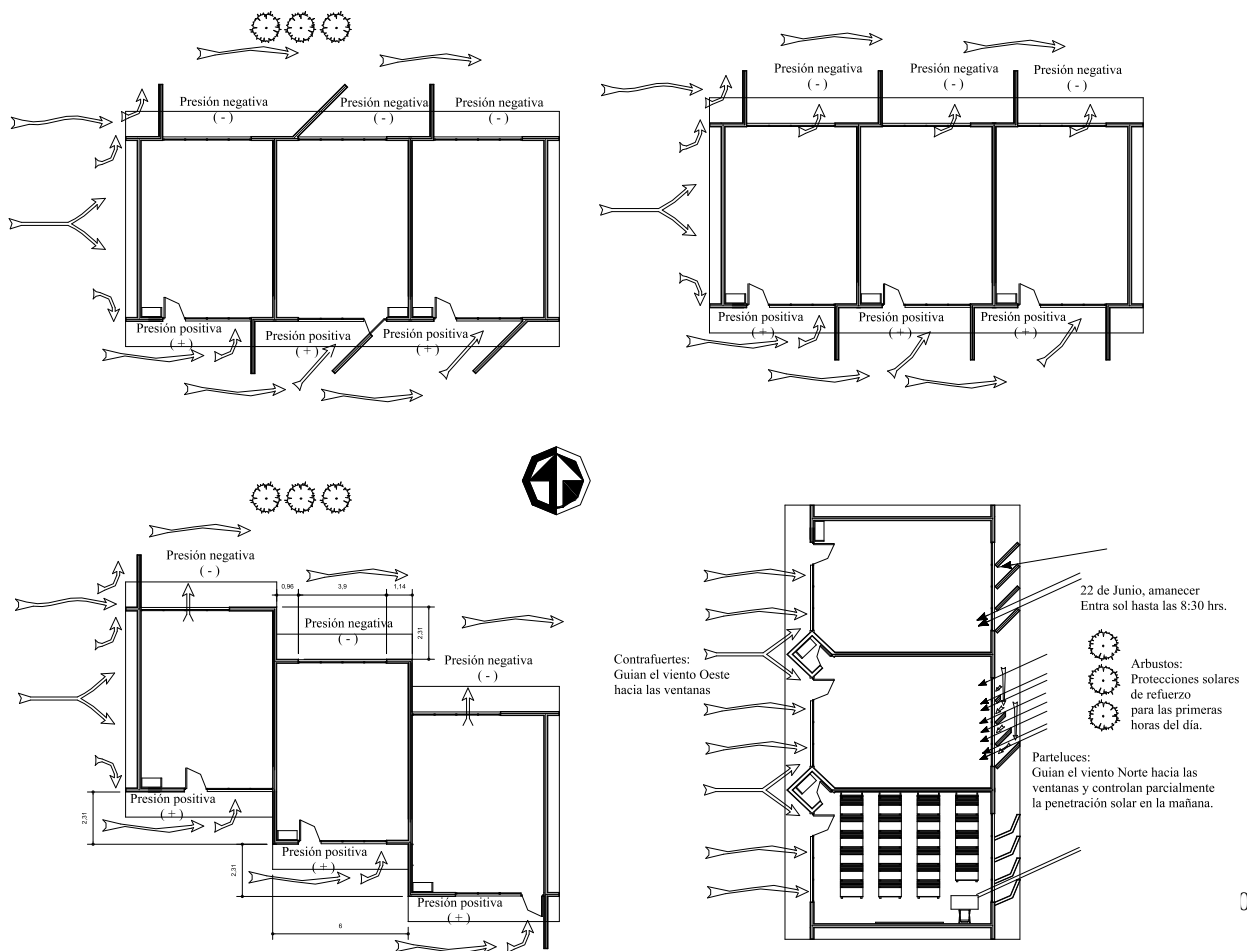


Fig. 109: Ilustración de las propuestas de diseño enfocadas a mejorar la conducción del viento hacia el interior de las aulas mediante el empleo de muros.

El desempeño de las actuales aulas fue evaluado mediante cajas de viento y comparado con otras orientaciones, estas orientaciones complementarias no pueden llegar a tal desviación que se acerquen a un giro de 90° puesto que esta posición las pondría en una situación excelente respecto a captación de vientos del Oeste pero quedaría en una situación bastante desventajosa en cuanto a captación de radiación solar puesto que la incidencia en las últimas horas de la tarde entraría fácilmente y sin la posibilidad de ser abatida mediante el empleo de volados, y un sistema de parteluces disminuiría la eficiencia de del viento, que es exactamente lo que se busca incentivar. Por este motivo se necesita que la desviación máxima de eje de aulas a ser analizada sea de 45° por ser una posición media entre la óptima para captar vientos y la óptima para poder reducir la penetración de la insolación.

Se consideró útil trabajar con una orientación más para tener mayor exactitud cuando se llegue a la fase de evaluación final, este valor se eligió como 22.5° por ser un valor intermedio entre las dos orientaciones ya elegidas y por ser una orientación con congruencia con las mediaciones de viento del observatorio, la desviación de 22.5° equivale a la diferencia entre las direcciones de los vientos N (Norte) y NNE (Norte-Noreste).

Por lo tanto las 3 orientaciones a comparar son:

- Orientación usada por las aulas del CAPFCE actualmente
- Orientación girada 22.5° respecto al original
- Orientación girada 45° respecto al original

Las gráficas que se ilustrarán el desempeño de cada orientación serán:

- Temperatura y confort: se referirán 4 parámetros referentes a la sensación de confort imperante, las cuatro curvas son la temperatura exterior, la temperatura interna considerando la incidencia de viento vigente, y los límites superiores e inferiores de confort
- Resumen de balance térmico, se plasman dentro de una misma gráfica los valores de ganancia o pérdida por conducción (Q_c), ganancia interna (Q_i), ganancia solar (Q_s), ganancia o pérdida por infiltración (Q_v) la ganancia total (Q_{total})
- Ganancia solar por elementos, en esta gráfica se desglosa el aporte térmico que aporta cada uno de los elementos de la envolvente térmica, se manifiestan por separado los valores de las 2 losas,

los dos muros colindantes con el exterior así como sus elementos inherentes como son las ventanas y la puerta, por último se expresa el total de la ganancia total.

Area adicional de ventana:

La misma hoja de balance térmico que calcula el desempeño de confort interno para las tres diversas orientaciones propuestas es la misma hoja de cálculo que nos indica el área de ventilación extra aconsejable para lograr remover el aire caliente y disminuir los niveles de temperatura hasta llegar a niveles muy cercanos a la temperatura exterior, nivel que se considera aceptable siempre y cuando haya una buena ventilación, ya que para este clima no es posible mediante métodos bioclimáticos disminuir la temperatura por debajo de la temperatura ambiente sin aumentar la humedad y sin utilizar la inercia térmica.

Los datos de área de ventana extra necesaria se calculan en metros cuadrados y de manera horaria, las mismas horas en que se trabaja para los demás estudios, al final de la tabla de datos horarios se especifica el área promedio de ventana extra requerida. La técnica de la construcción de vanos adicionales ya es utilizada por algunas aulas del CAPFCE en climas cálidos con la finalidad de disipar el calor pero con la salida de ventilación orientada hacia un solo lado, las aulas de este clima suelen carecer de acristalamiento en el área original de la ventana debido a la constante necesidad de ventilación a lo largo del año.

El área de ventana adicional es propuesta en la parte superior de las aulas para que opere no únicamente por acción del viento, sino también por acción de las diferencias de presión entre el aire caliente y frío (Fig. 110). Además se necesita que la losa que se construya sobre el vano de

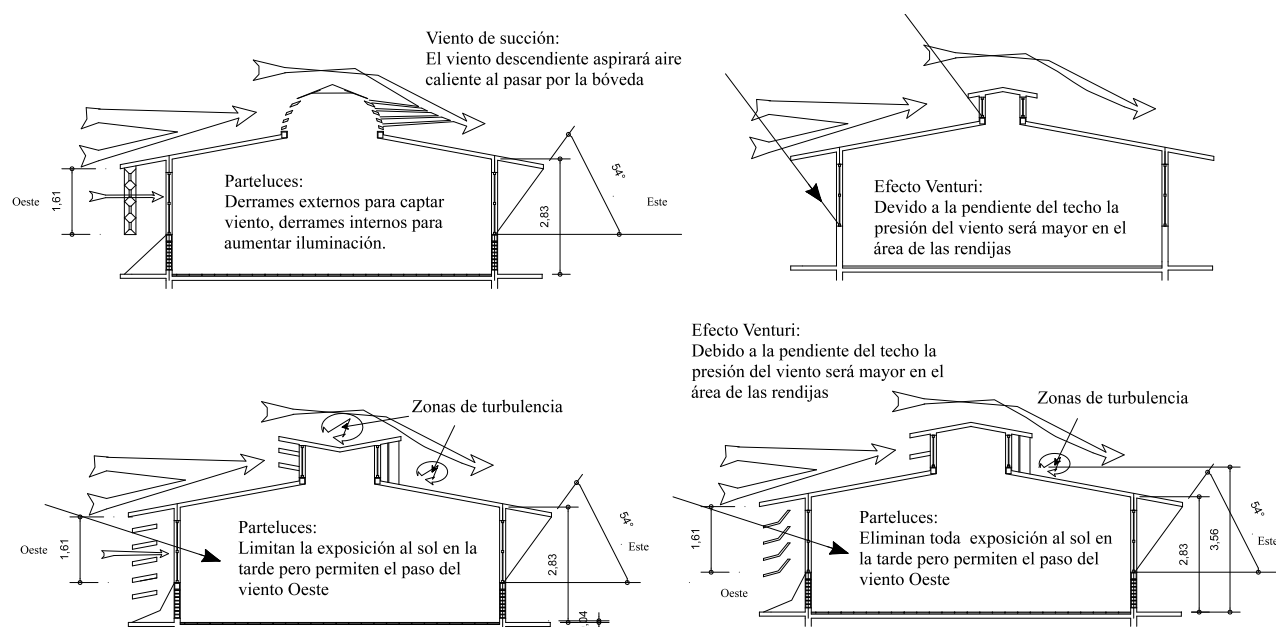


Fig. 110: Propuestas de ventilación para las cubreras de las aulas de Acapulco

ventilación tenga propiedades portantes ya que en las aulas del CAPFCE suelen ser instalados antenas receptoras en los techos (Fig. 111) y se necesita que quede sobre el techo adicional para que no interfiera con el flujo del viento.

La elección de la orientación más adecuada se realiza mediante la comparación de las tablas generales de resultados de ventilación de las hojas de cálculo de las tres orientaciones consideradas.



Fig. 111: Aula CAPFCE en El Descanso, Sinaloa. El área de la cubrera debe quedar libre para la posible instalación de equipo de telecomunicaciones.

8.2.3 PROPUESTA DE ILUMINACION EN ACAPULCO

El diseño de las aulas respecto a la iluminación natural está supeditado a las modificaciones que sean necesarias respecto a la ventilación ya que los niveles de iluminación natural en las aulas han mostrado ser satisfactorios y por ende su mejora no se considera un factor prioritario dentro de las necesidades de adecuación bioclimáticas generales.

Es esperado un bajo impacto en los niveles de iluminación de las aulas ya que las modificaciones afectarán en la menor medida posible sobre los actuales diseños del CAPFCE con la finalidad de hacer más plausible la futura aplicación de estas recomendaciones de acondicionamiento bioclimático, de cualquier forma se necesita verificar la manera en que las adecuaciones tienen repercusión sobre las aulas nuevas.

El primer paso es la evaluación de los niveles de iluminación de las aulas modificadas mediante el uso de maquetas sometidas a pruebas de cielo artificial, posteriormente se debe hacer una revisión de las diferencias, y en el caso de que la segunda situación sea adversa se propondrán alternativas para mejorar la iluminación.

Las pruebas de cielo artificial se realizan en el laboratorio de la universidad, utilizando maquetas de las aulas cuyas características comunes de todas las pruebas fueron una escala de 1:20, todos los colores internos eran lo más parecido a lo real, las bancas estaban sin ocupantes, el piso está pintado de color del cemento, ya que muchas escuelas oficiales tienen este tipo de acabado.

La verificación de niveles de iluminación tomará en cuenta las siguientes las variantes:

- El color blanco en muros, por ser el caso más favorable para el mejor aprovechamiento de la luz tanto natural como artificial
- El color amarillo claro en muros, la elección del color de las aulas varía de plantel en plantel, sin embargo se eligió un solo color y fue el amarillo, escogido para hacer una réplica de las aulas de la escuela María B. De Berlanga ubicada en el municipio de Montemorelos, Nuevo León, Fig. 112) que fue la ganadora del primer lugar nacional de resultados académicos en el primer año de aplicarse el programa de escuelas de calidad (PEC) en año 2001
- Aula provista de dos tragaluces que miden 60 x 60 cms en la cumbrera del aula, esta es una solución muy frecuente a problemas de mala iluminación natural, este tipo de aula se estudió utilizando los dos tipos de colores de muros
- La última prueba comprende al estudio de la propuesta final de aulas considerando 2 diferentes colores de pintura de muros interiores (amarillo y blanco). En ambos casos el color de pisos, techos y mobiliario se mantuvo constante.



Fig. 112: Escuela María B. De Berlanga, foto: Reforma/Daniel Reyes

En el supuesto de que los niveles de iluminancia presenten deficiencia se puede cambiar los colores de bancas, mesas, etc, además de la disposición de aulas para que queden en forma de trébol y mejoren la iluminación mediante su procedencia de varios lados como se ha hecho en el Reino Unido (Wilson 2002).

8.3 EVALUACIONES DE DISEÑO

8.3.1 EVALUACION DE ENFRIAMIENTO EN ACAPULCO

La comparación del desempeño de los materiales propuestos para disminuir la ganancia térmica producto de la radiación solar en losa se basó en los resultados individuales de las diversas gráficas y del resumen de balance térmico donde se puede apreciar cual sistema es el que provee el mejor aislante. En este estudio se escogió el mes más cálido del año, Mayo, el cálculo se realizó de manera horaria, considerando únicamente las horas en que se imparte clase. La única variante es el sistema de aislante en losas, todos los demás factores son de las aulas actuales.

● Sistema de sombreado (Fig. 113)

Este sistema consideró una disminución de la ganancia térmica por insolación sobre losas a lo largo de todo el día, llegando incluso a anularse por completo. Únicamente se conservaron las ganancias solares en la parte de los muros. En la siguiente gráfica se puede apreciar que la ganancia por muros tiene poca importancia debido a que solamente son impactados en las primeras y últimas horas del día cuando la radiación solar tiene menor intensidad. Por otra parte en los momentos cercanos al medio día se producen sombras pronunciadas y en esta circunstancia los volados que utiliza el CAPFCE son útiles y disminuyen la incidencia solar sobre muros y ventanas.

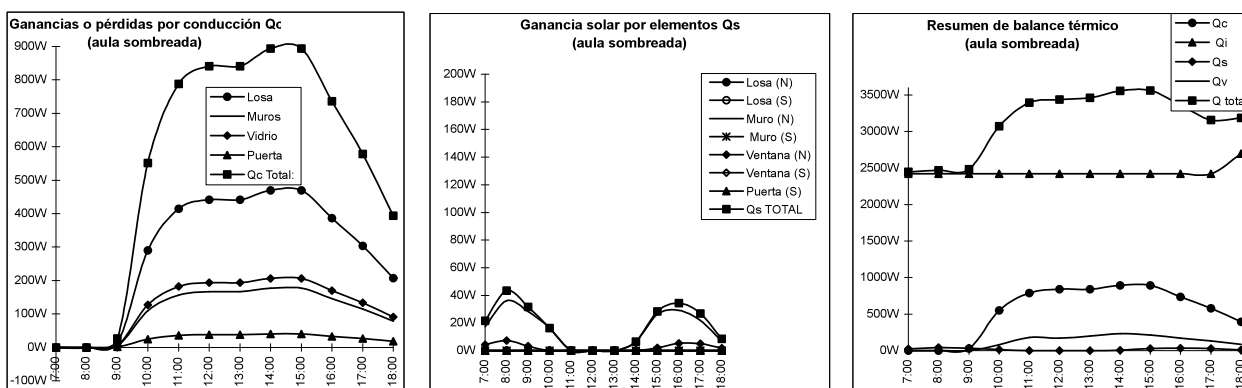


Fig. 113, Balance térmico de aula con sombreado de losas en Acapulco (Mayo): La mayor ganancia solar es a través de losas aunque muros y vidrios también son importantes, esta ganancia se deprime entre las 11 y las 14 hrs. y el resumen muestra que el mayor aporte térmico es el interno.

El lado negativo del sistema de sombreado es que solamente impide el impacto de la radiación pero no disminuye el intercambio térmico con el exterior producto de la conducción para la

ciudad de Acapulco y en los casos de las horas de clase la conducción genera ganancias y no pérdidas térmicas, esta situación hace particularmente desfavorable a la propuesta de un sombreado más eficiente ya que parte del calor que se ahorra por radiación solar se restituye por medio de intercambio conductivo, la figura 113 muestra claramente que la ganancia por conducción es generada principalmente por medio de la losa.

● Sistema de losa con una placa de poliuretano de 5 cms de espesor (Fig. 114)

El desempeño de este material es bueno en todos los aspectos, disminuye la ganancia solar en losas de una manera notoria, logra reducir la ganancia por radiación hasta un nivel donde la mayor ganancia es el metabolismo de los alumnos (Fig. 114). Se considera que la principal ventaja de este material es el aislamiento de la radiación. El calor ganado por losas en las horas más desfavorables supera por un moderado margen a la ganancia a través de muros en contraste con otros sistemas donde la ganancia por losas supera en gran medida a los muros. La disposición de un aislamiento efectivo no es suficiente para disminuir la temperatura a niveles óptimos de confort. Los beneficios de utilizar este material para inhibir el intercambio por conducción son fácilmente apreciables puesto que el elemento que más contribución tiene es la superficie de cristal seguida de los muros. De las cuatro propuestas el poliuretano de 5 cms de espesor es el material que mejor se comporta para disminuir la conducción. El mayor aporte térmico a lo largo del día sigue siendo el metabolismo de los ocupantes. La principal desventaja de este sistema es su elevado costo económico que lo hace menos rentable que los sistemas de poliestireno.

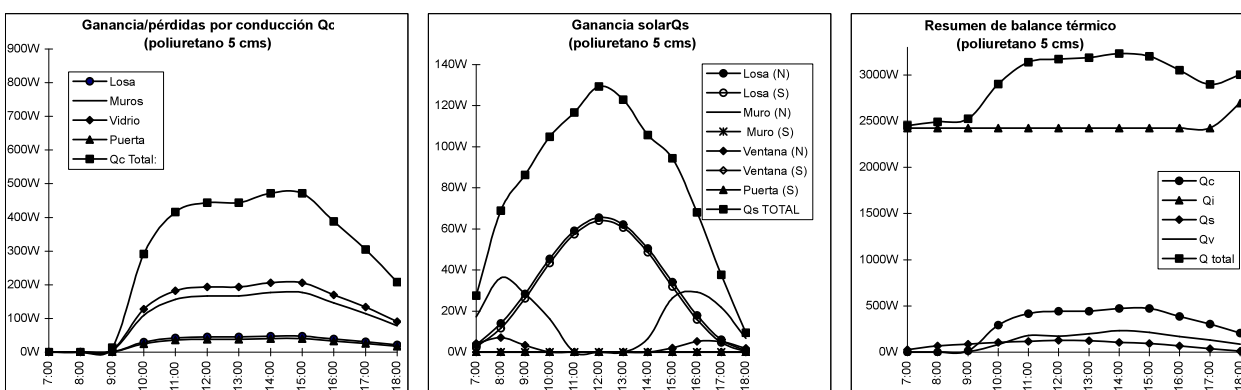


Fig. 114, Balance térmico de aula con aislamiento de poliuretano de 5 cms en Acapulco (Mayo): La temperatura ganada por conducción en losas se deprime notoriamente y es superada por vidrio y muro, la ganancia solar por losas máxima del día disminuye tanto que no es siquiera el doble de la mayor ganancia por muros, el resumen muestra que el aporte interno supera ampliamente a todos los demás fuentes.

● Sistema de losas con paneles de poliestireno de 5 y 10 cms de espesor (fig. 115 y 116).

Las propiedades térmicas de los paneles de poliestireno son bastante parecidas a las de los recubrimientos de poliuretano, solo que con menor resistencia térmica. Las dos presentaciones que se están comparando tienen una diferencia de espesor del doble lo cual se traduce en una aislamiento de radiación en losas de aproximadamente el doble. El panel de 5 cms. arroja una ganancia térmica en losas muchas veces mayor que la ganancia por muros mientras que en el panel de 10 cms la ganancia por losas es ligeramente mayor al aporte de los muros. En ambos casos la mayor ganancia térmica se percibe a través de las losas.

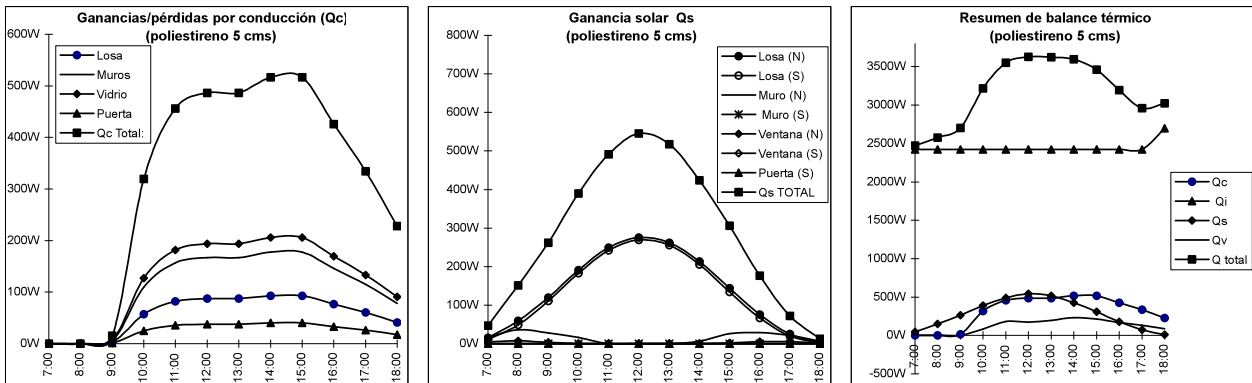


Fig. 115, Balance térmico de aula con aislamiento de poliestireno de 5 cms en Acapulco (Mayo): la ganancia por conducción de losas se mantiene moderadamente menor a la de muros y vidrios, el elemento que genera la mayoría de la ganancia solar es la losa y el mayor aporte térmico es interno.

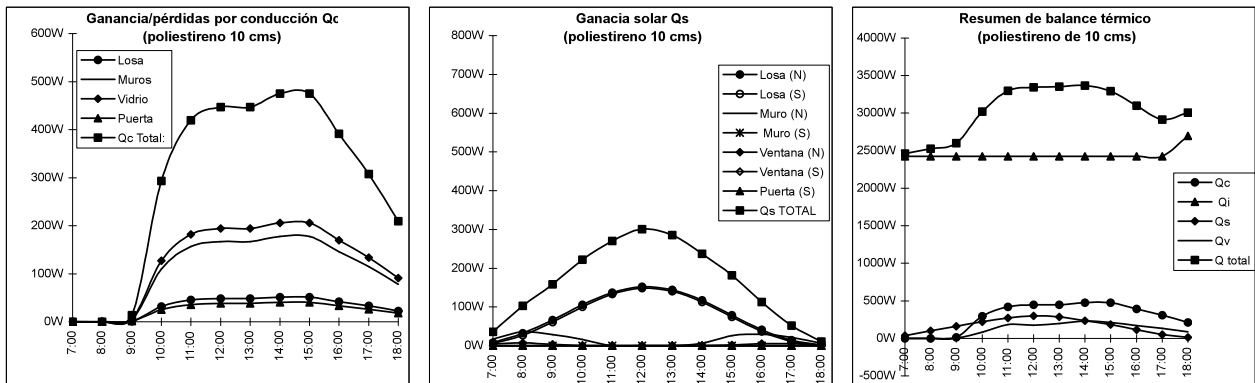


Fig. 116, Balance térmico de aula con aislamiento de poliestireno de 10 cms en Acapulco (mayo): la ganancia por conducción en losas es muy baja pero no se refleja en el total ya que el mayor problema son los muros y los vidrios, la ganancia solar es muy baja ya que el elemento crítico del aula es la losa y el principal aporte térmico es el metabolismo de los usuarios.

Sin embargo si se trata el tema de aislamiento de conducción ambos paneles parecen tener el mismo efecto, las gráficas de este rubro son muy parecidas para los dos espesores. En este tipo de ganancias los mayores aportes se dan por medio de los vidrios y muros y las losas juegan un

papel secundario y por eso el balance global es tan parecido. Si consideramos el desempeño total de dos aulas con sendos espesores de panel de poliestireno se puede observar que existe una diferencia (a favor del panel de 10 cms) cuando se desglosan los aportes térmicos pero cuando solo se toma en cuenta el resumen de balance térmico se aprecia poca diferencia. La única gráfica que muestra clara diferencia entre los dos espesores es la de aporte solar.

Elección de los materiales más rentables para aislamiento en losa:

El empleo de las cuatro alternativas de protección de losas producen claros beneficios en comparación con el diseño de las aulas convencionales. Una vez aplicada cualquiera de estas propuestas se puede esperar temperaturas internas bastante similares ya que si bien hay claras diferencias entre los materiales al analizar su valor k, los valores de toda el aula en conjunto manifiestan escasa diferencia. La figura 117 muestra una clara reducción en la temperatura interior de aulas entre el caso de losa convencional y las propuestas especialmente en las horas cercanas al medio día. El aislante que mejor se comporta es el poliuretano de 5 cms de espesor y el que da resultados menos buenos es el poliestireno de 5 cms de espesor. La diferencia de ambos es de apenas 0.9°C por lo que se recomienda usar el aislante que tenga menor costo económico.

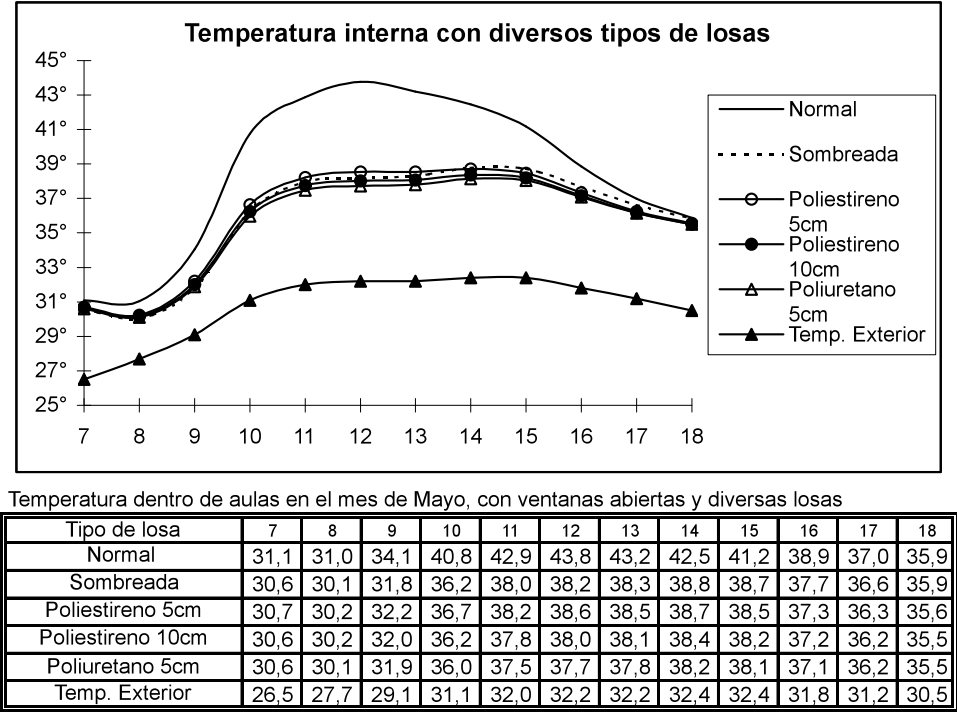


Fig. 117, Comportamiento de diferentes aislantes en losas en la ciudad de Acapulco (Mayo): Todas las propuestas alternas de losa tienen resultados muy similares entre sí y aventajan a los materiales actuales.

La elección del material final se ha inclinado por motivos de rentabilidad (fig. 118) al hacer la comparación costo beneficio contra los demás materiales ya que todos los materiales logran disminuir la ganancia térmica solar hasta niveles donde ya no es prioritario seguirla reduciendo ya que se llega a casos donde la ganancia interna predomina, se ha decidido utilizar el:

- poliestireno de 5 cms de espesor

Panel de poliestireno:

Espesor	Dimensiones del panel	Area de panel	Precio unitario	Precio por metro2	Rresistencia (R)
5 cm	1,22 x 2,44	2,98 m2	\$ 235	\$ 78,94	1,429 m2 °C / W
Espesor	Dimensiones del panel	Area de panel	Precio unitario	Precio por metro2	Rresistencia (R)
10 cms	1,22 x 2,44	2,98 m2	\$ 275	\$ 92,38	2,857 m2 °C / W

Relación entre los paneles de 5 y 10 cm	Dimensión del panel:	Precio por metro cuadrado	Rresistencia (R)
	idéntica	El panel de 4" es 17,02 % más caro que el panel de 5 cm	El panel de 10 cm tiene el doble de resistencia que el panel de 5 cm

Panel de poliestireno: Conductividad $k = 0.035 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$

Precios promedios de varios casas de materiales de la ciudad de México en Julio de 2003

Poliuretano:

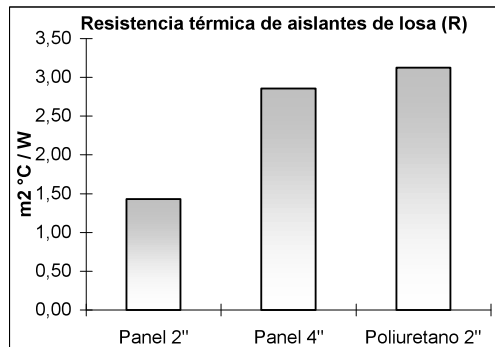
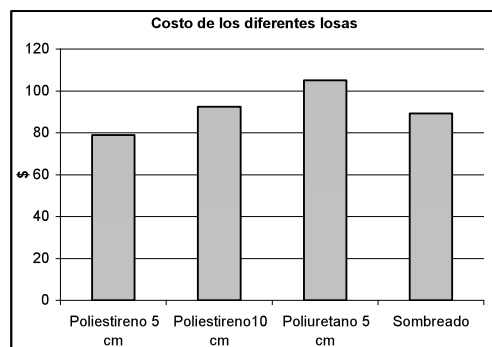
Espesor	Dimensiones del aula (mts)	Superficie de aula	Precio/aula	Precio por metro 2	Rresistencia (R)
5 cm	6 x 8	48,00 m2	\$ 5040	\$ 105,00	3,125 m2 °C / W

Capa de poliuretano: Conductividad $k = 0.016 \text{ (W/m } ^\circ\text{C)}$

Resistencia (R) 3,125

Losa sombreada (con teja de fibroconcreto)

Espesor	Dimensiones del aula (mts)	Superficie de lámina	Precio/lámina	Precio por metro 2	
5 mm	0,61 x 1	0,57 m2	\$ 50,61	\$ 89,21	



Ganancia térmica total en aulas de Acapulco al mes más cálido al medio día	Poliestireno (5 cms)	3629	Watts 12 hrs Marzo
	Poliestireno (10 cms)	3345	
	Poliuretano (5 cms)	3171	
	Aula sombreada	3438	

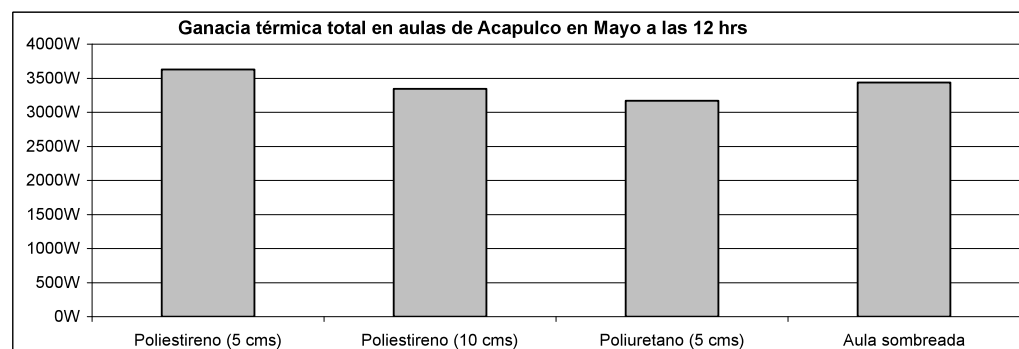


Fig. 118: Evaluaciones de viabilidad de los distintos materiales para reducir la insolación en losas.

8.3.2 EVALUACION DE VENTILACION EN ACAPULCO

Recomendaciones para captar los vientos dominantes del Oeste

El primer paso de la evaluación de vientos es ponderar la utilidad que tiene la utilización de muros para guiar los vientos hacia el interior de las aulas de las dos alternativas propuestas, la primera es la disposición de muros adosados al exterior de las aulas y la otra es el escalonamiento de las aulas.

La alternativa de muros adosados (Fig. 119) no sirve de mucho ya que únicamente la primera aula de cada módulo recibe una adecuada penetración de vientos mientras que la segunda recibe una muy deficiente incidencia de vientos y a partir de la tercera sala de clases la penetración es difícilmente apreciable por lo que se considera que esta técnica no es viable.

La segunda propuesta de escalonar de aulas (Fig. 120) es bastante más eficaz para todas las aulas de cada módulo menos para la última sala de clases que carece de muros que puedan guiar los vientos hacia su interior, sin embargo su funcionamiento no es el mejor comparado con otras propuestas y además tiene los inconvenientes de que eleva el costo al aumentar la longitud de los muros y la disposición irregular del núcleo de aulas demanda mayor cantidad de terreno para la construcción de una escuela.

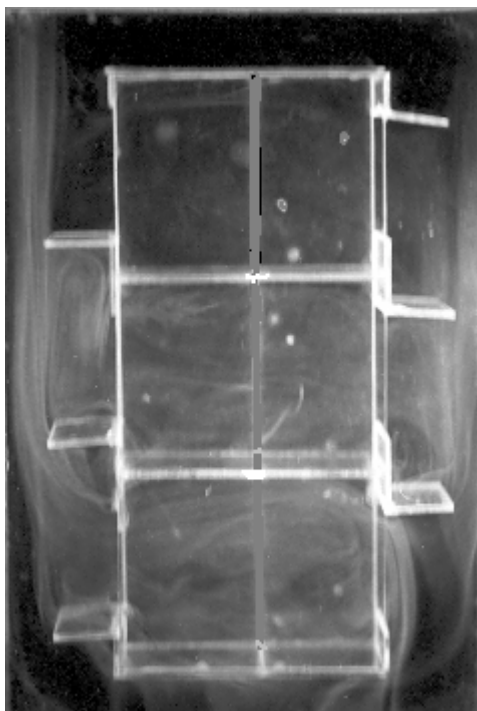


Fig. 119: Aulas con muros adosados

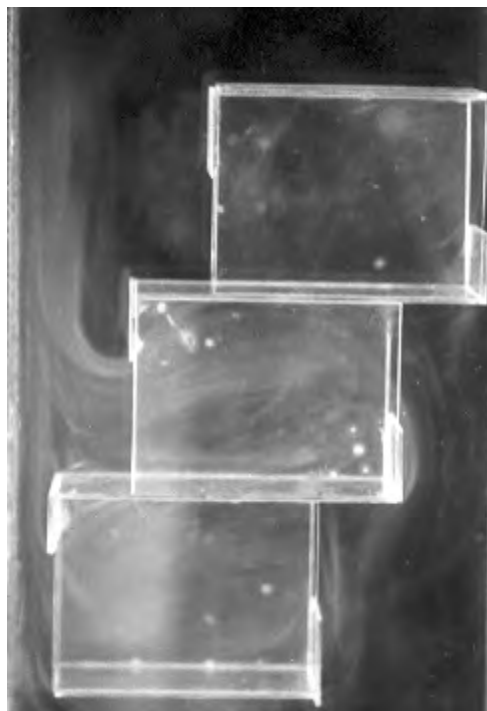


Fig. 120: Aulas escalonadas

Las pruebas con humo sobre las maquetas de acrílico demostraron que estas dos alternativas que conservan la orientación actual son poco efectivas para mejorar la ventilación natural por lo que es necesario buscar otras posibilidades para obtener una adecuada ventilación cruzada en aulas. Por ello se probó con la rotación de orientaciones de las aulas, la efectividad de estas nuevas propuestas se midió de manera similar a la anterior.

Orientación óptima

El procedimiento para elegir la orientación idónea de cada ciudad fue realizando un análisis estadístico que comprendiera la cantidad de veces al año en que se presentaran las siguientes tres situaciones a:

- calma o viento con dirección paralela a la ventana, situaciones en que no se puede ventilar
- casos en que no sea conveniente ventilar o no se requiera
- casos que requieran ventilación, que sea posible, y donde se especifique el área de ventana necesaria

El reporte se hizo de manera anual para cada una de las 3 orientaciones propuestas (giradas a 0°, 22.5° y 45° respecto al eje Sur-Norte), los resultados fueron los siguientes:

La orientación que más a menudo presenta la situación en que no es posible captar viento es el diseño original, con 59 casos al año. En esta orientación se puede apreciar claramente como a lo largo de todo el día la temperatura interior bastante superior a la temperatura exterior (fig. 121).

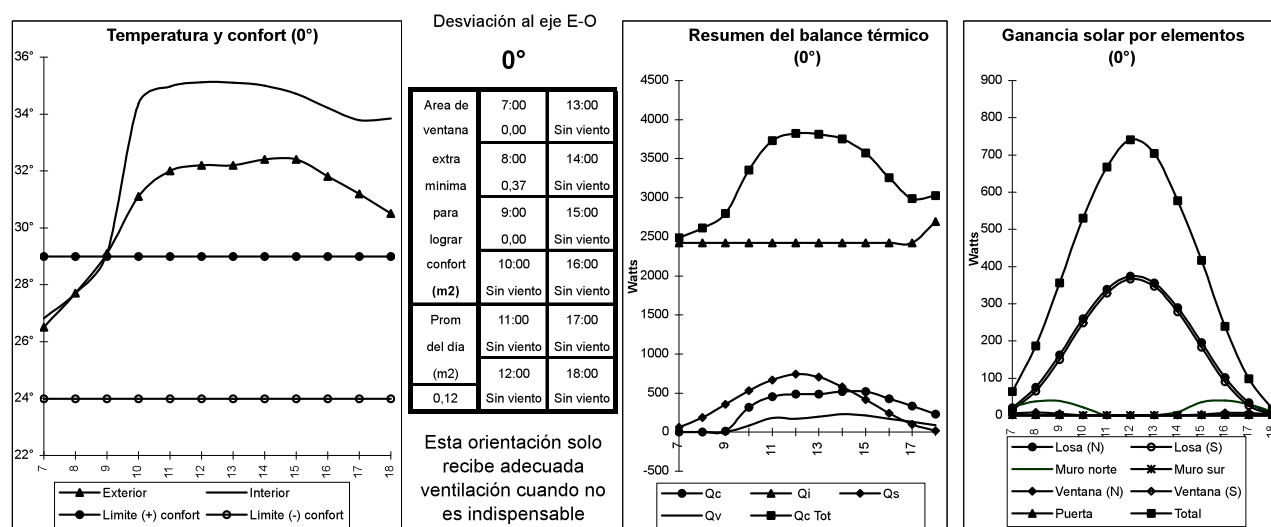


Figura 121, Desempeño de aula en orientación original al mes de Mayo (losa con poliestireno 5cms): A causa de la escasa coincidencia de la dirección de los vientos con la orientación de ventanas la mayor parte del día la temperatura interna supera al límite de confort y a la temperatura externa.

La orientación que presenta una desviación sobre el eje original de 22.5° presentó una incapacidad de ventilación únicamente en 7 ocasiones al año. En este caso se puede observar que en los vientos logran penetrar y disipar el calor en exceso de forma intermitente a lo largo del día. (fig. 122) por lo cual se aprecian fluctuaciones en la temperatura según la dirección e intensidad del viento más típico para los diversos periodos horarios del día.

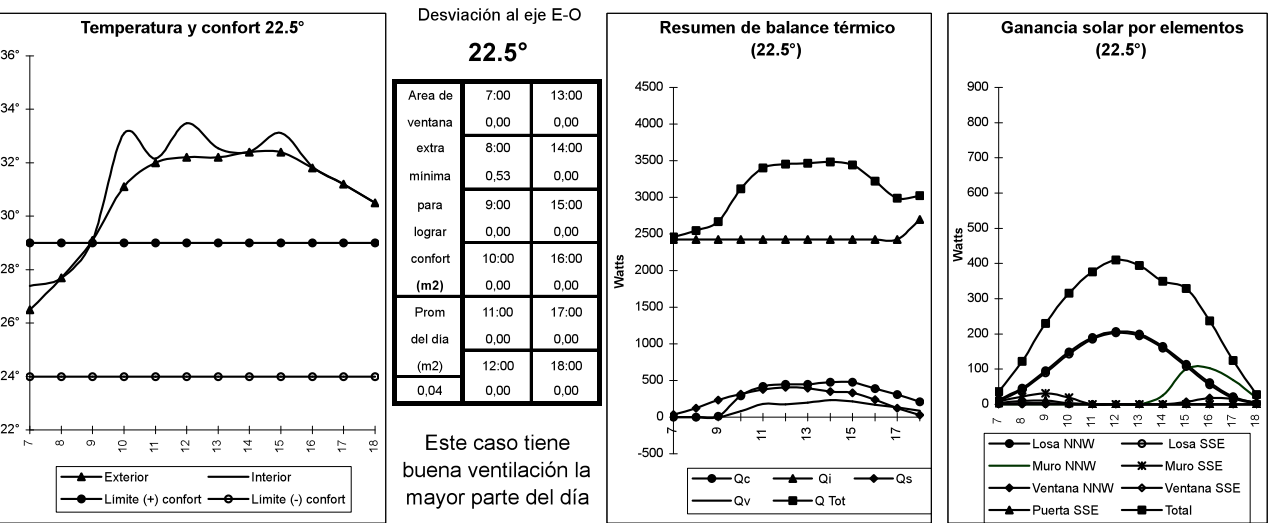


Figura 122, Desempeño en el aula girada 22.5° al mes de Mayo (losa con poliestireno 5cms): La coincidencia de los vientos con las ventanas en esta orientación es muy irregular a lo largo del día y consecuentemente la remoción del aire caliente y la temperatura interna también.

La orientación a 45 ° presentó en 7 ocasiones al año situaciones de carencia de ventilación promovido por los vientos,(fig. 123) solo que esta orientación se mostró más efectiva para disipar el calor en los momentos en que si se consiguió el acceso de vientos. (más meses en el apéndice)

La estadística definitiva debe observar los estudios de balance térmico para las tres orientaciones propuestas, de ahí se puede determinar que tan importantes son las temperaturas altas en las fechas y horas en que la ventilación natural no es suficiente.

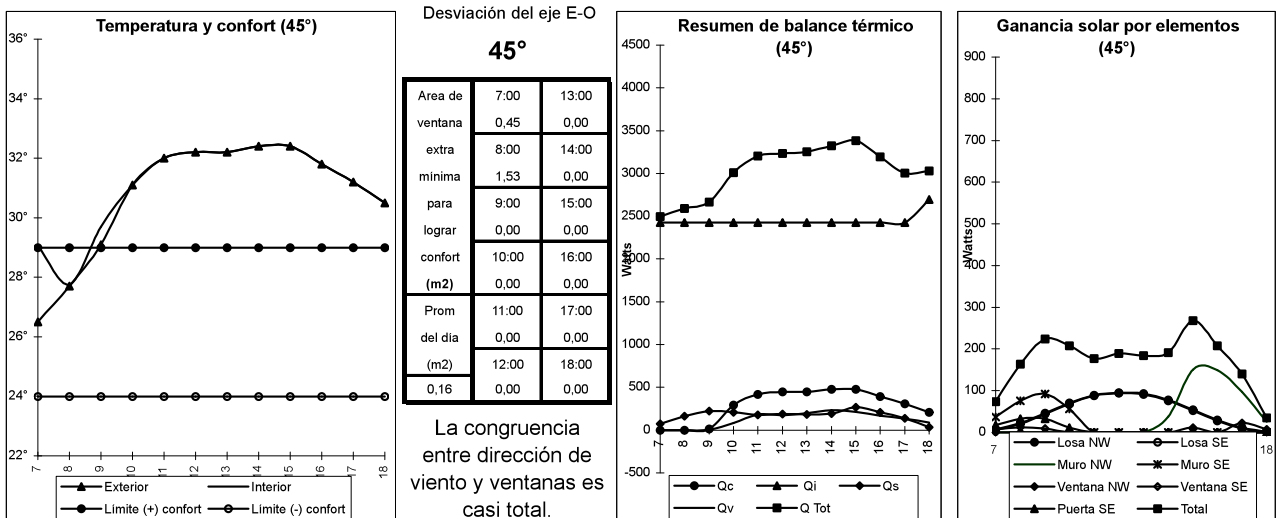


Figura 123, Desempeño del aula girada 45° al mes de Mayo (losa con poliuretano 5cms): esta orientación es la que mejores posibilidades tiene para captar los vientos a lo largo del día y se logra mantener el interior de las aulas en valores muy cercanos a la temperatura ambiente.

El análisis estadístico de los 10 meses lectivos (según modelos matemáticos, ver ejemplo del mes más cálido, Mayo, ver más meses en el apéndice) sobre la preferencia de las tres orientaciones tomó en cuenta la cantidad de ocasiones al año en que es posible igualar la temperatura interior con la exterior, los resultados en orden de niveles de confort fueron los siguientes: (fig. 124)

Mes	1er lugar	2do lugar	3er lugar	Mes	1er lugar	2do lugar	3er lugar
Enero	45°	22.5°	0°	Junio	0°	45°	22.5°
Febrero	45°	22.5°	0°	Septiembre	45°	22.5°	0°
Marzo	45°	22.5°	0°	Octubre	45°	0°	22.5°
Abril	45°	22.5°	0°	Noviembre	0°	22.5°	45°
Mayo	45°	22.5°	0°	Diciembre	45°	0°	22.5°

Figura 124: Niveles de eficiencia para captar viento de tres rangos de rotación de plantas

Esta tabla expresa claramente que para el primer semestre la mejor orientación es en todos los casos con una desviación de 45° mientras que para el segundo semestre solamente 2 meses se ven más favorecidos con otra orientación, el primero Junio que solo tiene clases la mitad del mes y el otro es Noviembre que está entre los meses menos cálidos del año. Por lo tanto se considera que la mejor alternativa de modificación a la orientación de las aulas CAPFCE para esta ciudad es:

- orientación de aula desviada 45° del original para Acapulco

Comportamiento del viento que incide a 45° sobre la fachada de las aulas

Las pruebas de comportamiento ventilación natural que se realizaron por medio de cajas de viento demostraron que el viento que incide a 45° contra las ventanas se mueve con facilidad a través de la mayor parte del interior de las aulas. Esta prueba muestra que la orientación sugerida por los modelos matemáticos esta libre de problemas de estancamiento de aire en la mayor parte de la superficie.



Fig. 125: Incidencia de vientos a 45° sobre un aula con toda el área de ventana abierta

Area adicional de ventilación

Se ha decidido ya la orientación óptima para captar vientos, desviación de 45° sobre el eje original (Fig. 125), sin embargo, ha sido determinado mediante los modelos matemáticos que se requiere de un área de ventilación adicional para subsanar las carencias del actual diseño sin importar que la orientación ya sea diferente y más favorable. Para tal efecto se realizaron pruebas de comportamiento de viento sobre las propuestas de aulas con zona de ventilación adicional. Estas pruebas se llevaron a cabo mediante pequeños cortes de maquetas de material acrílico introducidos en cajas de mayor tamaño del mismo material, posteriormente se indujo el paso de humo en el interior para la observación de su recorrido. La meta de la caja es evitar que corrientes de aire exteriores afecten al experimento, los resultados perseguidos son la ubicación y forma de

la nueva superficie de ventanas con los resultados de estas pruebas se realizaron las primeras conclusiones sobre las posibilidades de diseño de aulas alternas y se eligió a la que puede satisfacer con mayor facilidad las necesidades.

Se analizaron 4 alternativas de diseño que pueden mejorar la tasa de ventilación mediante succión de aire en la zona de la cumbrera. El área de ventilación extra se calculó de acuerdo a el modelo matemático que estableció que si se rota la orientación de la fachada a 45° se requiere de un área extra de ventilación de 0.94 m^2 , por lo cual se propone un área de ventilación adicional que mida 0.25 mts de alto que multiplicado por los 6 metros de largo del aula nos da una superficie total de 1.5 m^2 que excede en aproximadamente un 50% los requerimientos mínimos teóricos de ventilación. Los resultados se explican a continuación.

Alternativa 1 (aula equipada con turboextractor):

Esta prueba reproduce el efecto de aspiración generado por los sistemas turbo extractores de aire, también conocidos popularmente como cebollas. Estos mecanismos son frecuentemente recomendados para los climas cálidos, (King, 1995). El corte simula únicamente el ducto que comunica al aula con la cebolla para extraer el aire caliente (Fig. 126) puesto que no se puede simular el efecto de extracción de la cebolla. Esta prueba puso de manifiesto una escasa capacidad para succionar el humo que entra por las ventanas en barlovento. La principal vía de escape de aire en esta alternativa es a través de las ventanas de sotavento siendo acuciado por los vientos que entran por la ventana opuesta.

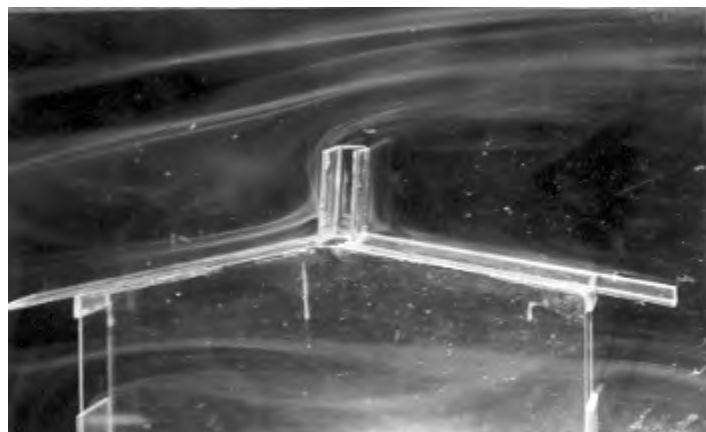


Fig. 126: Alternativa 1, sistema turbo extractor de aire

Alternativa 2 (Area de cumbrera tipo bóveda de cañón):

Los resultados de la eficiencia de la ventilación apreciados en esta prueba son moderadamente más favorables que los del caso anterior. Esta alternativa también tiene el problema de aumentar la cantidad de radiación solar que puede entrar al aula sin ofrecer a cambio claros beneficios de renovación de aire. Si bien este diseño es adecuado para la ventilación aumenta los problemas de ganancia solar y por ende no será considerada para las pruebas finales (Fig. 127).

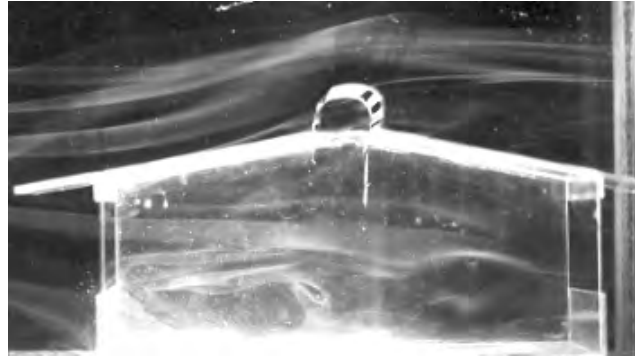


Fig. 127: Aula con cumbrera de bóveda de cañón

Alternativa 3 (cumbrera de pendiente invertida):

Este sistema se sugirió pretendiendo que la disposición de los colados de la losa superior provean mayores posibilidades de captar aire y que pueda aumentar el efecto Venturi cuando el aire circule entre dos losas convergentes. El objetivo de lograr un efecto de aspiración de aire eficiente para contrarrestar la mayor insolación recibida debido al menor ángulo de protección solar no se consiguió. Las pruebas en las cajas de acrílico demostraron que esta propuesta no logra el efecto de absorción en los niveles considerables. Una buena cantidad de aire pasa por encima de la ventana adicional y en la zona de sotavento se observa claramente una zona de turbulencia. (Fig. 128). Esta alternativa tampoco se considera viable.

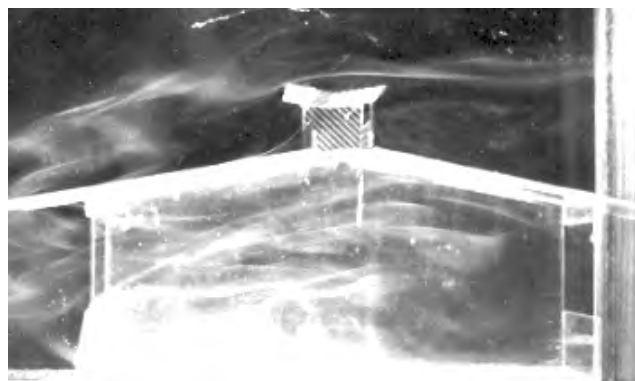


Fig. 128: Aula con cumbrera de pendiente invertida

Alternativa 4 (Zona de cumbrera elevada)

La propuesta de diseño de esta nueva área de ventilación modifica en el menor grado posible el actual diseño y conserva las traveses hacia el interior del aula. Sobre estas traveses se desplanta los castillos que soportan la cumbrera que se construye con los mismos materiales que el resto de la losa. La principal desventaja de esta propuesta es que obstaculiza el flujo del aire al interior del aula.

Variante de alternativa 4 (Zona de cumbrera elevada con traveses sobre nivel de losas):

La segunda propuesta de zona de cumbrera elevada tiene las mismas dimensiones de área extra de ventilación y está dotada de los mismos elementos estructurales. La diferencia es la posición de las traveses que en este caso se colocan hacia el exterior de las aulas con la finalidad de no obstruir la circulación del viento en los estratos más altos del aula. Adicionalmente a la mejoría de la circulación interna se espera que la mayor altura donde desemboca el tiro de la ventilación mejore su eficiencia mediante un efecto Venturi.

Las pruebas en el laboratorio de túnel de viento examinaron maquetas hechas a escala 1:20 de acrílico para probar la efectividad de los diseños de las aulas modificadas, al interior de la maqueta se dispusieron sensores hechos con hilos para detectar el movimiento producido por el humo (Fig. 129) Estas pruebas demuestran que el viento tiene de esta manera muchas más posibilidades de disipar el aire del interior de las aulas de las demás alternativas de ventilación extra propuestas o los casos de aulas que carecen de área extra de ventilación.

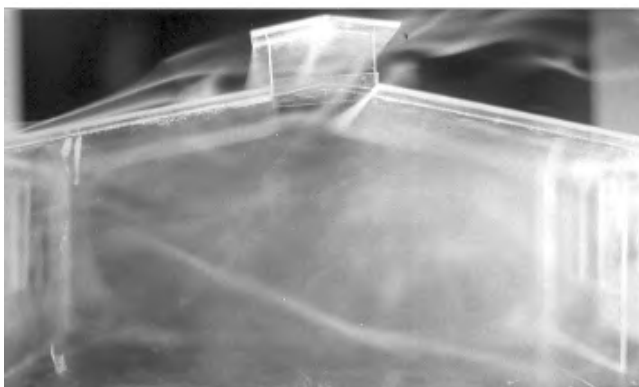


Fig. 129: Simulación dentro de caja de acrílico

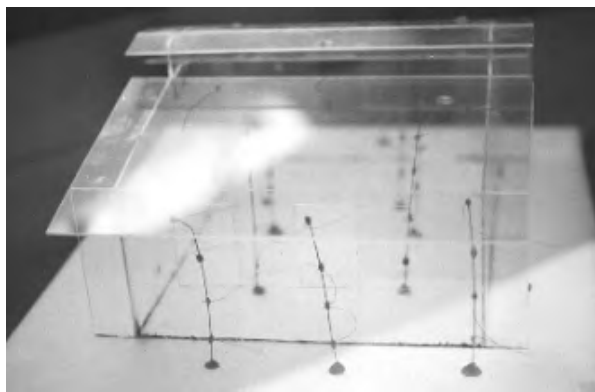


Fig. 130: Prueba dentro de túnel de viento

La prueba de flujo de humo dentro de una caja de acrílico (Fig. 130) demostró de manera más clara como el humo del interior del aula es succionado por las corrientes de aire que pasan por encima de la losa con lo que se consigue una buena ventilación, el aire más cálido es el primero

en salir aunque no haya viento por efecto de diferencias de presión y tan pronto comienza a soplar el viento el aire caliente también es disipado a través de las ventanas.

Los modelos a escala de las propuestas preliminares de aulas para ciudad de Acapulco sugieren la conveniencia de utilizar el modelo que tiene dispuestas las trabes que soportan el peso de la losa hacia el exterior del aula.

En la fig. 131 se puede observar que si las trabes son colocadas al interior del aula el movimiento del aire en la parte superior del espacio se ve entorpecido y el movimiento de aire que se registra es principalmente de manera directa entre las ventanas ya existentes en los diseños originales mientras que las ventanas adicionales no muestran que se logre de manera eficiente el efecto deseado de aspiración de aire y solo dejan pasar el viento que sopla sobre la cubierta a través de las dos aperturas.

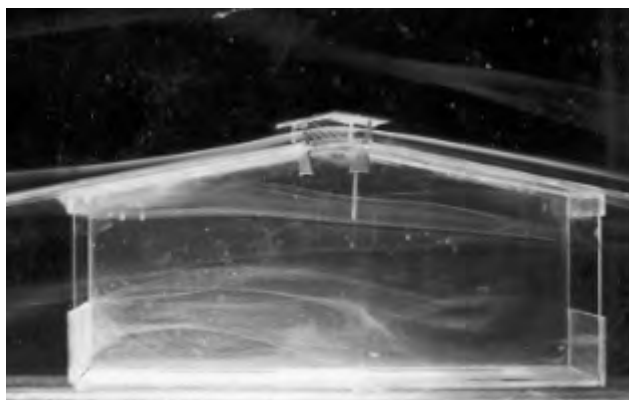


Figura 131: Aula con trabes hacia el interior

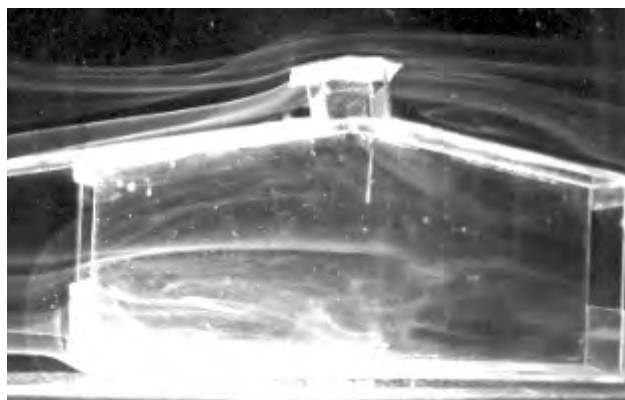


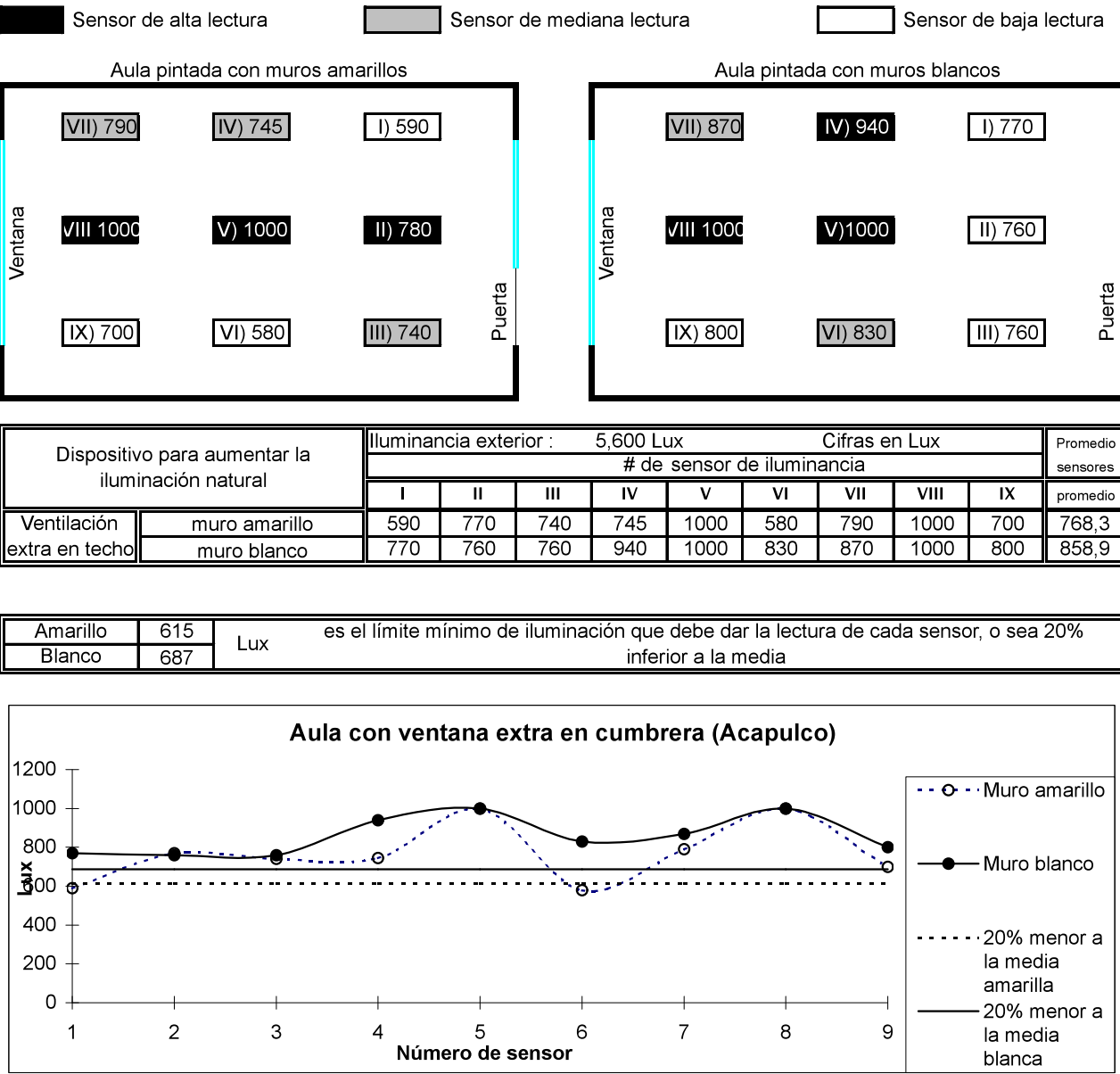
Figura 132: Aula con trabes hacia el exterior

La alternativa con las trabes hacia el exterior del aula muestra claramente una mayor eficiencia para lograr los objetivos planeados ya que se aprecia que el flujo del aire en las cercanías de la cumbrera y salida superior de aire no disminuye, fig. 132. Al mismo tiempo la mayor altitud de la salida de aire sobre la losa de dos aguas logra incentivar el efecto Venturi. Se puede ver que las ventanas superiores en esta propuesta logran que un mayor flujo de viento pase a través de ellas. Se ha decidido que la segunda alternativa será la definitiva para el caso de la ciudad de Acapulco.

8.3.3 EVALUACIONES DE ILUMINACION EN ACAPULCO

Aula provista de área de ventilación adicional (figura 133)

En esta propuesta el comportamiento de aulas pintadas con ambos colores supera en todos los medidores los 250 Lux necesarios. Sin embargo únicamente el color blanco cumple con el requerimiento de que ningún medidor indique valores menores en un 20% al promedio, la mejor alternativa es el aula con área de ventana extra y color blanco en interiores.



8.4 CONCLUSIONES

8.4.1 DISEÑO FINAL DE AULA PARA ACAPULCO (Fig. 134)

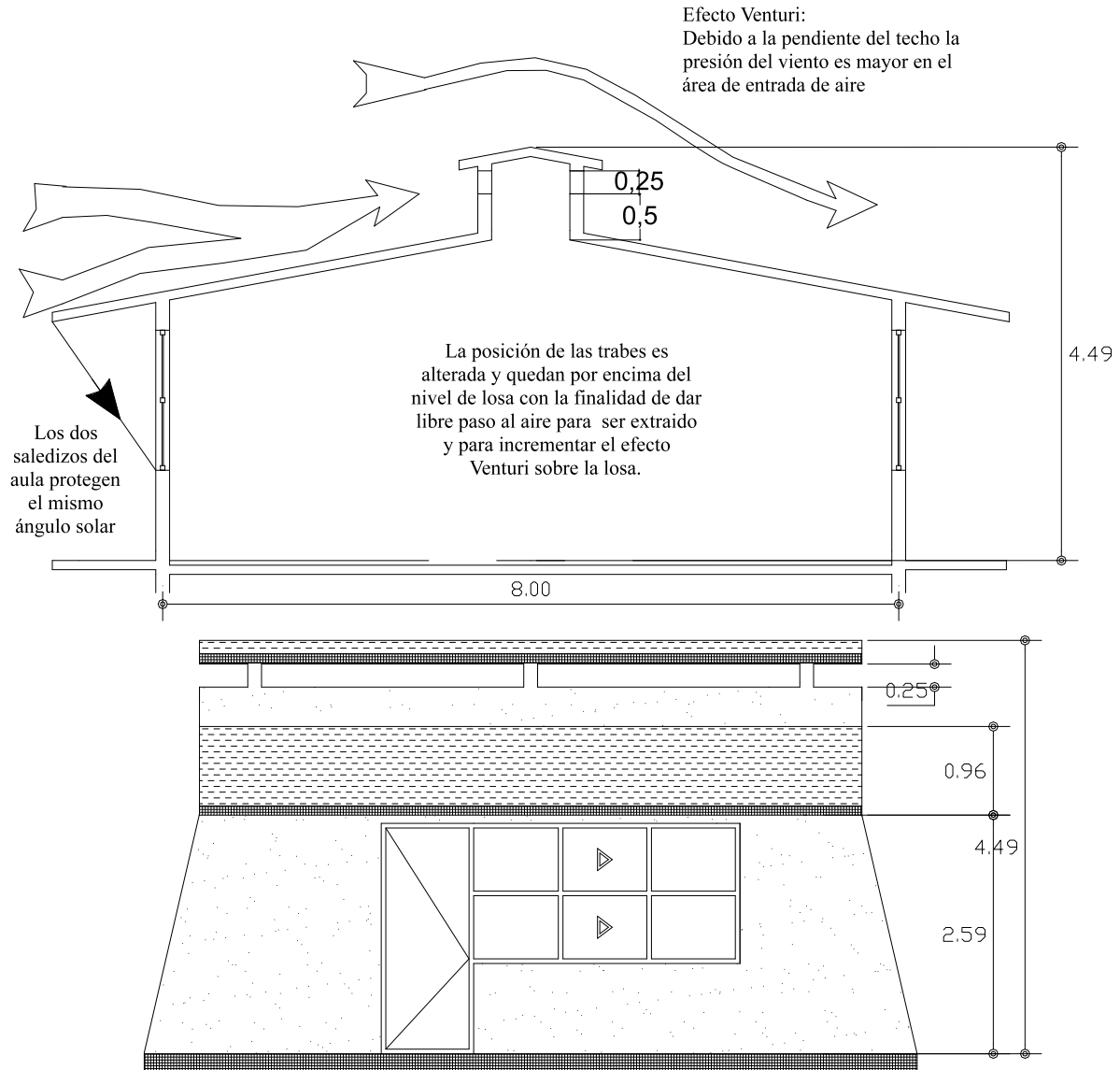


Fig. 134: Aula con las traveses en el exterior del aula

Principales características de las aulas:

- Losas hechas a base de poliestireno de 5 cms con acabado de alta reflectancia
- Mismo ángulo de protección solar provisto por los salidizos
- Aumento de zona de ventilación en la zona de la cumbrera
- Rotación de la planta arquitectónica a 45°

8.4.2 CONCLUSION DE ENFRIAMIENTO EN ACAPULCO

Las simulaciones de balance térmico demostraron que la utilización de losas a base de panel de poliestireno de 5 cms de ancho es suficiente para reducir la ganancia solar a través de losas hasta niveles donde su efecto global en el calentamiento interior de las aulas es bastante bajo. Adicionalmente se recomienda la aplicación de un acabado impermeabilizante sobre losas de alta reflectancia de por lo menos 87%.

Cuando se dispuso el nuevo vano en la cumbrera del aula se abrió la posibilidad de obtener ganancia por radiación solar y se verificó los efectos de la nueva ventana, las pruebas de la maqueta mediante la gráfica gnomónica demostraron que las dimensiones de los volados propuestos para el techo provisto en la parte superior de la cumbrera son suficientemente eficientes para impedir una penetración solar mayor que produjera un sobrecalentamiento no deseado que pudiera anular los beneficios ganados por la extracción de aire caliente.

Unicamente se registró una escasa penetración solar (Fig. 135) en horas con un bajo ángulo de altura solar cuando las ganancias internas son por mucho superiores a las ganancias solares, estas situaciones solo se dan en los meses de invierno. En los meses del resto de las estaciones no se tienen penetración solar a las horas más cálidas sino hasta las tres de la tarde, (Fig. 136), mediante el uso de los modelos matemáticos se constató que el aumento de temperatura debido a la mayor exposición a los rayos solares de la nueva propuesta no tiene grandes repercusiones, es muy breve el lapso de tiempo en que penetran y es poca la intensidad del sol a esas horas.



Fig. 135: Aula girada 45°(21 de Dic, 15 hrs)



Fig. 136: Aula girada 45° (21 de Marzo, 15 hrs)

Se considera que la disposición de la abertura de la parte superior del techo es benéfica y provee de un correcto sistema de adecuación bioclimática que no genera mayores ganancias solares, consigue disipar más calor mediante ventilación del que puede atraer a través insolación extra según se ha constatado por medio de las hojas de balance térmico.

8.4.3 CONCLUSION DE VENTILACION EN ACAPULCO

Las primeras pruebas de ventilación que se realizaron para verificar cual de las orientaciones es la más adecuada ponen en evidencia que un giro en la orientación de las fachadas puede mejorar radicalmente las posibilidades de ventilación natural.

Las propuestas de varias alternativas de diseño de aulas para lograr captar de manera más eficiente el viento revelaron que la disposición de muros para encaminar el viento hacia las ventanas no mejoraba de manera contundente la circulación interna del aire. Las pruebas sobre el comportamiento de cada aula dentro su núcleo prescindiendo de elementos adicional es para conducir el viento hacia las ventanas demostró que solamente la primera aula en ser alcanzada por viento lograba alguna penetración de viento mientras que el resto de las aulas quedaban al margen de este beneficio.

Las pruebas finales que se realizaron sobre salas de clase convencionales sometidas a una rotación de orientación estudiaron el viento Oeste debido a su mayor presencia en las hora de más calor. Los resultados de estas pruebas fueron bastante favorables, fueron los más razonables debido a que eran más factibles desde el punto de vista económico. No tenían el problema de permitir exagerada insolación como es el caso de aulas que son giradas a 90°, por lo tanto la mejor alternativa desde los puntos de vista bioclimático y económico para mejorar la captación de vientos sin detrimento de la protección solar es girando las aulas.

Una vez definida la orientación, la ubicación del área extra de ventilación y su área dentro de las cajas de acrílico se procedió realizar la prueba en el túnel de viento de la universidad. Se fabricó una maqueta de acrílico y se le colocaron 9 sensores al interior con tres hilos cada uno y además se le colocaron sensores extras en la parte exterior.

Los resultados del comportamiento del viento sobre la superficie de la maqueta y su interior fueron favorables y se pudo constatar que se logró el efecto deseado cuando el viento pasa por encima de la cubierta a dos aguas y crea un efecto Venturi aumentando así su velocidad al pasar por la cumbrera donde se sitúa el área de ventilación adicional para disipar con mayor facilidad el viento.

El estudio de orientaciones con el aula actual girada a 45° y un área extra de ventilación permite que la temperatura interna se asemeje bastante a la temperatura ambiente en la mayor parte de las horas de calor y se logre refrescar a los usuarios. Se eligió poner esta área extra de ventilación en la cumbrera donde se unen las dos losas ya que la estrategia de aspirar el aire mediante un tiro

resulta más conveniente que el aumento de área de ventilación en las inmediaciones de la ventana actual.

La propuesta es que esta ventana extra sea más ancha que la ventana original y mida el mismo ancho que el aula y que su altura sea de unos 25 cms con lo cual se puede superar el área especificada necesaria por un ligero margen para prever posibles variaciones de vientos a lo largo del año. No es conveniente aumentar el área de ventana ya que si bien nos puede ayudar a la ventilación también es una posible fuente de calor debido a que puede estimular ganancias de radiación solar. En este caso se ha previsto que la parte de arriba de las aulas provea del mismo tipo de volados a los ventanales de la parte superior, que tengan la misma longitud con respecto a la altura del vano, es decir que protejan de exactamente los mismos ángulos solares.

La uniformidad de criterios de ángulo de protección provisto por las losas tiene como fin lograr la misma protección contra lluvia e insolación. Esta área de ventilación carecerá de acristalamiento puesto que el problema del calor es constante a lo largo de todo el año y solo quedará un vano libre para favorecer el flujo del aire.

Con la orientación y área de ventilación definida se evaluaron dos alternativas que tenían los mismos niveles de penetración solar pero con la diferencia de la colocación de las trabes situadas en las cumbreras de las losas. La elección final fue el modelo que usaba las trabes al exterior por ser del mismo costo que la primera, y porque la penetración solar es la misma pero con un mejor comportamiento del viento.

8.4.4 CONCLUSION DE ILUMINACION EN ACAPULCO

Según las pruebas en el laboratorio de cielo artificial la iluminación de las aulas del CAPFCE ya era buena desde antes de las modificaciones que en este trabajo se proponen. El reglamento de construcciones del Distrito Federal pide que las aulas de clase puedan satisfacer demandas de 250 Lux, en las pruebas de nivel de iluminación realizadas en el laboratorio de la universidad se colocaron 9 sensores en las maquetas de manera distribuida dentro de todo el salón, en todas las pruebas se pintaron de color blanco las superficies horizontales y verticales aledañas a las ventanas con la excepción del piso que se quedó con el color gris propio del cemento con la finalidad de mejorar los niveles de iluminación internos. La lectura de datos indica que si los muros son pintados de color blanco se garantiza que el promedio de las lecturas rebasa ampliamente el valor reglamentario, la lectura más baja marcó 200 Lux nivel que se encuentra

por debajo del reglamento pero el promedio general del aula es de 373 Lux, en la siguiente ronda de pruebas se requiere corroborar que las adecuaciones no disminuyan los niveles de iluminación. En la segunda prueba de iluminación natural en aulas se estudió a un aula con la modificación de 2 tragaluces situados en la cumbrera (ver en el apéndice).

La prueba se realizó con las mismas situaciones de la prueba anterior, la única variante fue la disposición de los tragaluces, los resultados obtenidos aumentaron los niveles de iluminación natural hasta llegar a un nivel promedio de 527 Lux. La lectura más baja, que es un sensor ubicado atrás de la puerta registró una intensidad luminosa de 310 Lux, mientras que la lectura más alta se registró justo en el sensor ubicado en la parte central del aula. (820 Lux) en este caso los niveles de iluminación tuvieron menor fluctuación entre sí además de ser mayores sus potencias. Por se concluyó que la iluminación provista con los tragaluces adicionales es benéfica. La tercera prueba se realizó sobre el aula definitiva que se propone para la ciudad de Acapulco, los resultados obtenidos fueron similares a los de la opción de los tragaluces pero con mayor intensidad, las lecturas de todos los sensores fueron sumamente homogéneas con escasa variación entre los valores extremos y el promedio general de mediciones fue de 858 Lux, (tomando en cuenta que los muros están pintados de blanco) lo que nos indica que la modificación propuesta para Acapulco, beneficia en primer lugar al confort higrotérmico pero en segundo plano genera una mejora en los niveles de iluminación.

En general se puede decir que la mayoría de los sensores de todas las pruebas marcaban niveles cuantitativos de iluminación satisfactorios pero cuando se analizaba al aula en su conjunto se apreciaban deficiencias en el aspecto cualitativo pues no siempre cumplía la norma de que todo sensor tenga valores cuando mucho 20% inferiores a la media. El diseño con la modificación del tragaluz en la cumbrera logró este objetivo y con ello se mejoraron las condiciones de iluminación del diseño actual de las aulas del CAPFCE.

CAPITULO IX

PROPUESTAS DE ADECUACION BIOCLIMATICA PARA LA PAZ

9.1 ESTRATEGIAS DE DISEÑO EN LA PAZ

9.1.1 ESTRATEGIAS DE ENFRIAMIENTO

Una buena parte de las técnicas bioclimáticas del desierto pueden ser tomadas de la naturaleza, la pigmentación de los camaleones cambia de acuerdo a las condiciones solares, en los edificios se puede regular la absorción y la reflexión solar mediante el uso de pintura de diferentes colores en muro y losas.

Entre los sistemas constructivos vernáculos más comunes de los desiertos se encuentra el uso de la masividad que sirve para disminuir la alta oscilación térmica al interior de los espacios habitables. La escasa humedad relativa ambiente hace que la oscilación térmica sea considerable en los espacios exteriores. El efecto de la masividad es el aumento del retardo térmico para que la temperatura exterior tarde más tiempo en atravesar la envolvente constructiva de una edificio (muros, techos, etc.) y permita que la temperatura interior sufra menos variaciones de temperatura a lo largo del día que el exterior.

El retardo se logra utilizando materiales constructivos de alta capacidad de contener calor y aumentando el espesor de los mismos. Esta técnica ha sido utilizada en la arquitectura de diversas culturas asentadas en el desierto de México desde la época prehispánica. Uno de los principales ejemplos son las construcciones de la cultura Paquimé, la ciudad homónima de esta civilización se ubica en el desierto de Chihuahua y se desarrollo entre el 700 D.C. y 1340 D.C. Sus construcciones estaban hechas a base de arcilla colado con muros semienterrados de tipo tapial (México desconocido, 2002) que llegaban a tener espesores de hasta 60 centímetros con la finalidad de hacer frente a la gran oscilación térmica y proteger al interior de la alta radiación solar (fig. 137).

Otra característica de esta cultura es que su preferencia por los espacios ortogonales que logran disminuir la superficie de muro expuesta a los embates de medio ambiente en relación con el volumen de aire contenido en su interior (fig. 138). Este sistema aumenta el efecto de inercia térmica buscado en climas desérticos.

Las técnicas utilizadas en Paquimé tienen un buen resultado para disminuir el calentamiento producto de la radiación y altas temperaturas exteriores. Sin embargo en nuestro caso de estudio no es tan útil por la ganancia térmica interna producto del metabolismo de los numerosos

ocupantes de las aulas. Por lo tanto se considera que el uso de masividad no es adecuado en aulas porque dificulta la dispersión del calor interior.

Otra forma de mantener fresco el interior de las aulas es a través de la efectiva disposición de sistemas de protección solar en ventanas. La verificación de la efectividad del diseño de aulas propuesta para La Paz se hizo mediante la gráfica gnomónica con la misma maqueta que se utiliza en las pruebas de iluminación natural.

El impacto de la radiación solar en las aulas para este clima puede ser reducido mediante el uso de materiales aislantes de la envolvente constructiva que logren controlar la ganancia térmica por radiación y conducción que pueden ser los mismos del caso de Acapulco.



Fig. 137: Zona arqueológica de Paquimé



Fig. 138: Maqueta de Paquimé (M.N.A.)

9.1.2 ESTRATEGIAS DE VENTILACION EN LA PAZ

Uno de los métodos más ingeniosos de ventilación en climas desérticos son las torres eólicas o «colectores de viento» (Bad-gir) este sistema aún sigue en funcionamiento en las construcciones antiguas de muchos lugares de Irán. Su técnica se basa en unas torres de mampostería que conducen el aire al interior, durante su recorrido el aire es enfriado al intercambiar calor con el ducto que se mantiene fresco por el efecto de masividad. En el sitio donde desembocan los túneles se disponen recipientes de agua para ser evaporados por efecto del viento y así lograr una disminución adicional de la temperatura del aire (Gans, 2000).

Este sistema es capaz de lograr temperaturas tan bajas como 30°C que son aceptables para la gente acostumbrada al clima del desierto.

La disipación del aire caliente se realiza mediante salidas en la parte más alta de los techos. Es común el uso de cúpulas donde los vientos que la impactan tienen que ascender hasta la cima y mediante el efecto Venturi generado se incrementa la velocidad al pasar por la apertura con lo que se estimula la succión del aire caliente del interior (fig. 139).



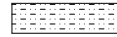
Fig. 139: Torres eólicas de Yazd Bad-gir, Iran Foto: Jacques Gans

Este sistema de ventilación natural no se puede usar de manera idéntica ya que las condiciones climáticas no son iguales y aunque La Paz es un desierto su oscilación térmica no es alta y no es probable obtener el mismo nivel de efectividad de enfriamiento de aire mediante el paso del viento por los ductos. Sin embargo si es viable la posibilidad de humedecer el aire en los meses con menor humedad relativa en el ambiente y más calor. Debido a los niveles relativamente bajos de humedad ambiente en las horas más cálidas en la ciudad de La Paz se considera que un aumento en estos niveles es benéfico ya que puede llegar a un punto con niveles simultáneos de confort en temperatura y humedad (fig. 140). El estudio de la carta psicrométrica con valores normales de 30 años indican la posibilidad de aumentar los niveles de humedad en todo el año, sin embargo para hacer un diagnóstico desglosado por horas se debe trabajar con los datos horarios de la última década.

Además de la disminución de la temperatura del aire que entra en las aulas es posible incentivar el flujo de aire mediante la extracción en la parte más alta del techo, en la zona de la cumbrera de las aulas del CAPFCE, obteniendo el efecto Venturi ya que la losa tiene pendiente. La propuesta de ventilación en la cumbrera sigue los mismos patrones de las aulas de Acapulco.

La ventilación es muy importante en este caso ya que aunque se trata de un desierto la mayor ganancia para muchos momentos es interna y a esta fuente de calor solo es viable disiparla mediante la ventilación.

Zona de acción de la ventilación natural en países cálidos del tercer mundo según Givoni



Meses con temperatura máximas superiores a la zona de confort térmico anual

ABRIL (14.8 - 29.4°C)
MAYO (16.8 - 32.6°C)
JUNIO (19.1 - 33.7°C)
SEPTIEMBRE (23.5 - 34.7°C)
OCTUBRE (20.4 - 32.4°C)
NOVIEMBRE (16.8 - 28.5°C)

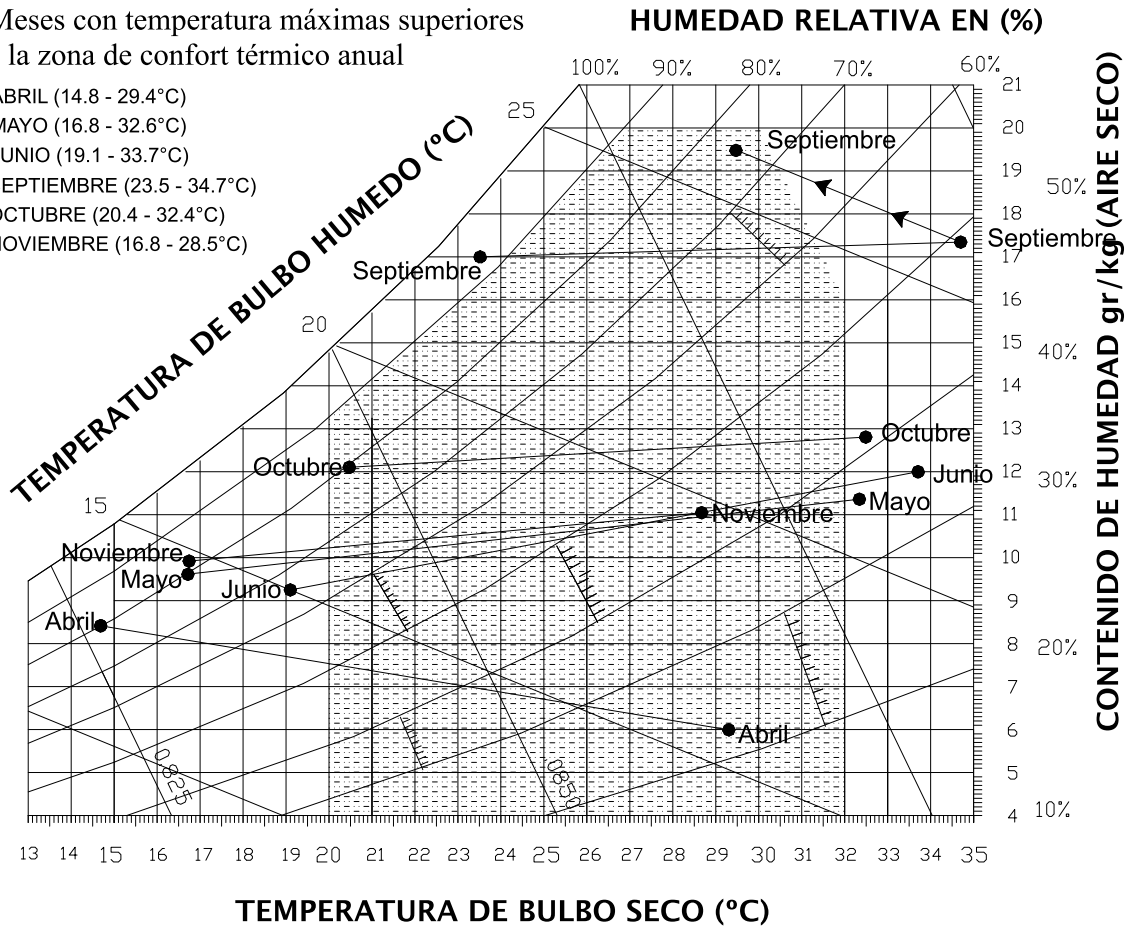


Fig. 140: Humidificación en aulas de La Paz en meses más cálidos (según normales 1940-1970)

9.1.3 ESTRATEGIAS DE ILUMINACION EN LA PAZ

Las estrategias de iluminación para las aulas de La Paz serán las mismas que las que se utilizan para las aulas de Acapulco ya que el diseño es bastante similar y porque la intensidad luminosa de diseño para ambos casos es la misma. El nivel de iluminación exterior al que fueron sometidas las aulas fue igual de acuerdo a las posibilidades del equipo de pruebas y a que sus latitudes no son muy distantes. Según Szokolay, (1980) los niveles medios de iluminación al aire libre tienen variaciones de 10,000 lux en Brisbane (lat 27°) a 15,000 lux en Darwin lat 12°, de aquí se puede concluir que las diferencias de iluminación entre las ciudades a estudiar no son muy grandes por ser latitudes cercanas, Acapulco 16°.50, La Paz, 24°.10 y se considera adecuada la aplicación de iguales condiciones de estudio. Los criterios de aplicación de colores y problemática de aspectos

cualitativos de iluminación natural son los mismos del caso de Acapulco ya que las escuelas de todo el país tienen libertad de usar el color que quieran.

9.2 PROPUESTAS DE DISEÑO EN LA PAZ

9.2.1 PROPUESTAS DE ENFRIAMIENTO

Las técnicas para impedir el calentamiento de las aulas serán como las de Acapulco, en ambas ciudades se constató que las principales fuentes de calor son la interna, que no se puede reducir, y las ganancias por radiación sobre las losas.

La intención es buscar un material aislante térmico para losas que no tenga gran impacto en el costo y cuya capacidad para impedir el paso del calor sea suficiente.

Las alternativas de protección solar son la disposición de un elemento separado de la losa que provea sombra, los paneles de poliestireno en 2 diferentes espesores y el recubrimiento de poliuretano en la losa.

En esta ciudad es más importante verificar la utilidad del poliuretano puesto que tiene mayor capacidad de aislamiento térmico y esta ciudad presenta mayor intensidad de radiación que Acapulco. Debido a que el costo del poliuretano es más elevado que el poliestireno solo se considerará su aplicación si los beneficios de este último son claramente mayores.

El poliuretano propuesto consiste en un recubrimiento sobre la losa convencional de 5 centímetros de espesor (Fig. 141) que se aplica mediante mangueras sobre la losa y después es cubierta por la película del impermeabilizante de color rojo terracota.

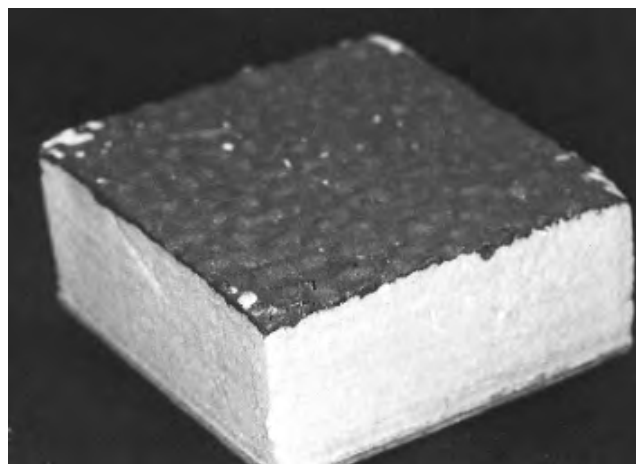


Fig. 141: Corte del recubrimiento de poliuretano de 5 cms de espesor.

9.2.2 PROPUESTA DE VENTILACION EN AULAS EN LA PAZ

La nueva orientación necesaria para las aulas bioclimáticas para esta ciudad requieren situarse en una posición que les permita aprovechar los vientos de dos direcciones distintas.

La primera dirección de viento que debe ser aprovechada es la Noroeste por ser la que se presenta con mayor frecuencia dentro del horario escolar y por ser la que se presenta más en las horas de más calor. En segundo lugar se deben aprovechar los vientos de las direcciones del eje Norte-Sur ya que de ambas direcciones se presentan frecuentemente vientos aunque el Sur tiene claro predominio sobre el Norte.

Rotación de aulas a 45°

La primera alternativa que se ilustra es la rotación de una aula a 45° sobre la orientación original (Fig. 142) que puede servir para mejorar la captación de los vientos Noroeste que son los más importantes en las horas más calurosas de clase. Esta orientación causaría una disminución en la eficiencia para permitir el paso de los vientos de Norte y del Sur. La verificación del desempeño para los citados vientos se corroborará mediante modelos físicos mientras que la verificación de todas las horas con todos los vientos se hará mediante modelos matemáticos. Es importante que los modelos matemáticos consideren la alternativa que se ilustra a la derecha del plano puesto que versión de la izquierda no podría beneficiarse del viento Noroeste porque llegaría justo a los muros y la penetración sería nula.

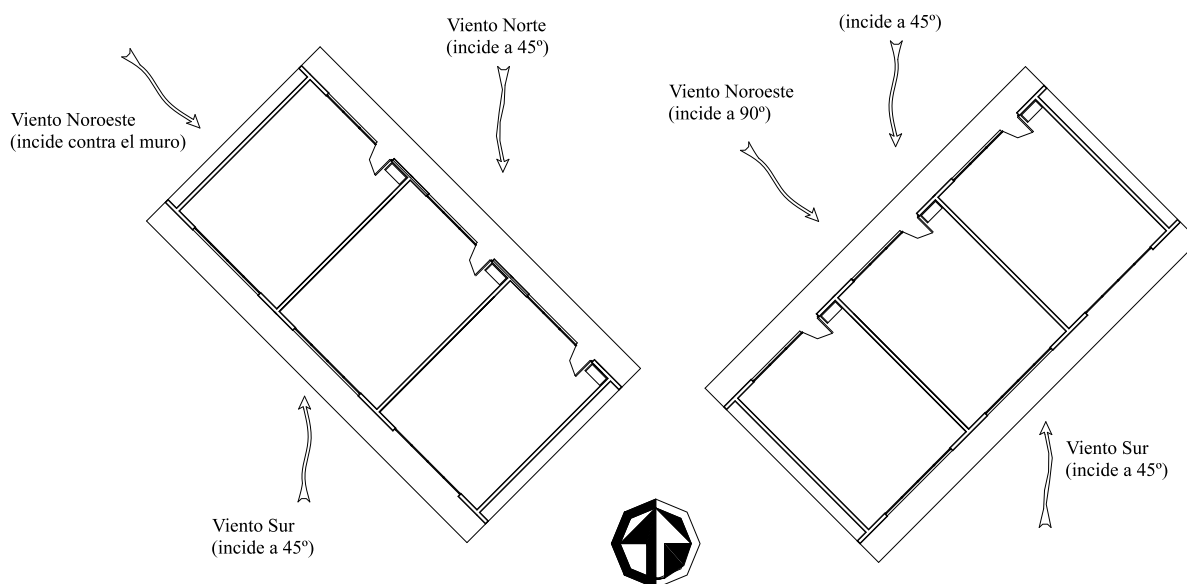


Figura 142: Propuestas de rotación de aulas a 45°

Rotación de aulas a 22.5° (Figura 143)

Esta alternativa se sitúa en una posición intermedia entre la orientación actual y la máxima rotación propuesta. La alternativa de la izquierda no se considera adecuada puesto que disminuye de manera clara las posibilidades de ventilación en el caso de los vientos Noroeste. En el caso del plano de la derecha disminuye ligeramente la eficiencia para captar los vientos Sur y Norte pero mejora el comportamiento para los vientos Noroeste, esta opción es mejor puesto que es el punto medio donde se reciben los tres vientos dominantes con el mismo ángulo de incidencia. Estas dos propuestas son igual de eficientes para los vientos Norte y Sur pero solamente la opción de la derecha es apta también para el viento Noroeste.

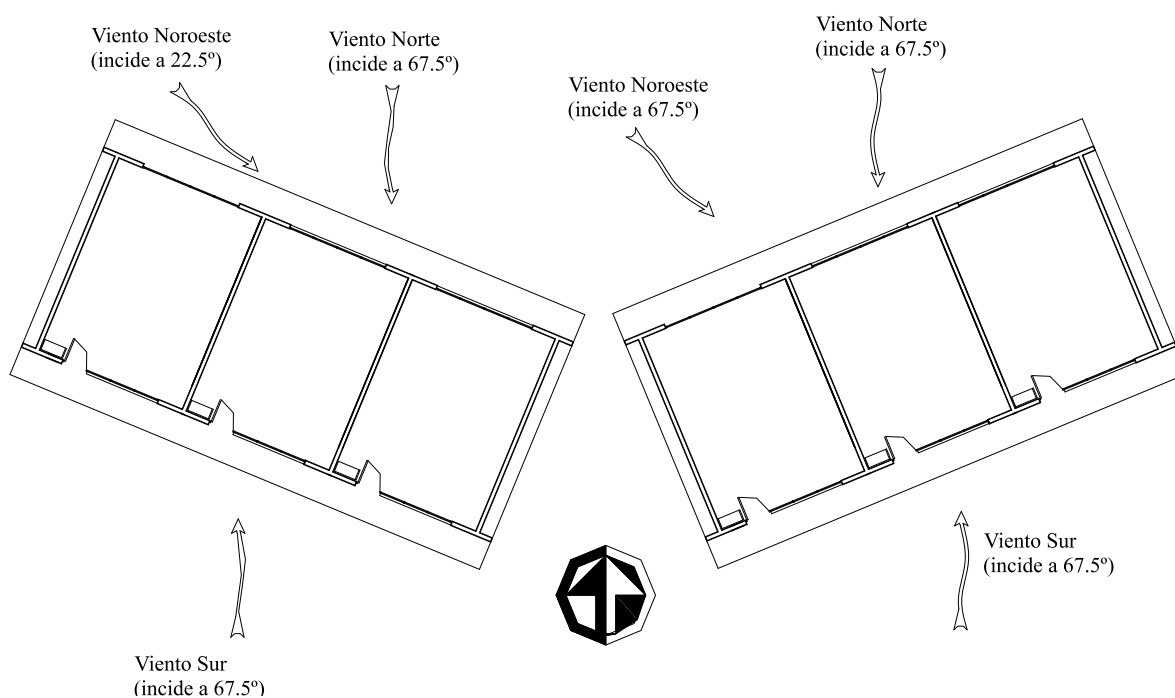


Figura 143: Propuesta de rotación de aulas a 22.5°

Sistema de torres eólicas (fig. 144)

Este sistema tan eficiente en los desiertos del medio oriente tiene como inconveniente para La Paz la escasa diferencia térmica entre día y noche. En el caso concreto de las aulas del CAPFCE (Fig. 144) la disposición de los ductos limita de manera clara la eficiencia de los pasillos y consecuentemente demanda una mayor superficie de terreno para la construcción de la misma cantidad de aulas. Las necesidades de una mayor superficie de terreno tiene un desfavorable impacto económico. La misma construcción de los gruesos muros de las torres es otro factor que aumenta el gasto total de construcción de cada núcleo de escuelas. Por los anteriores motivos se

considera inviable el uso del sistema de torres eólicas, sin embargo el aumento de humedad en el ambiente si puede ser tomado en cuenta para poder ventilar cuando la temperatura exterior no se presta para ese fin.

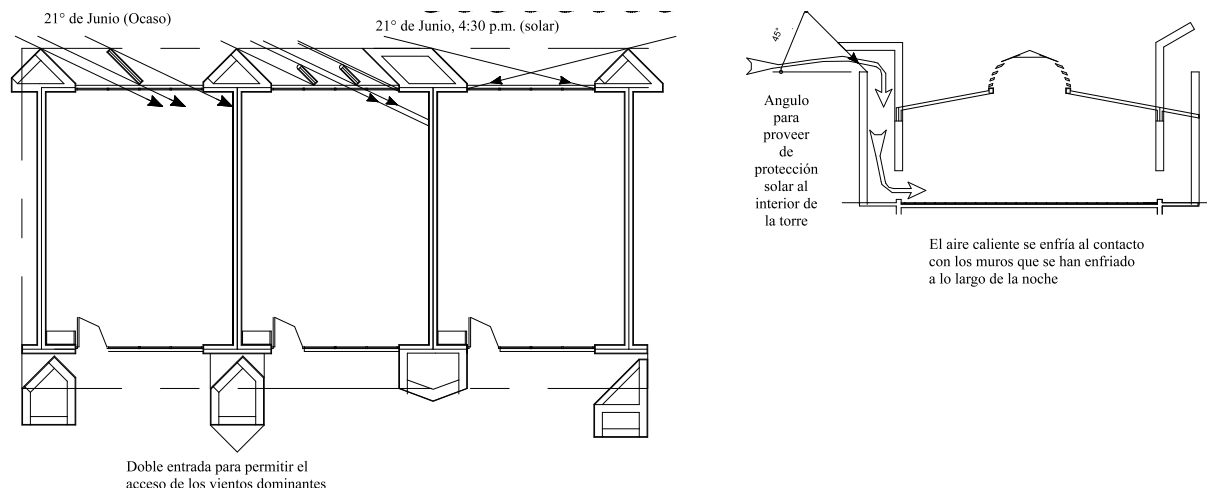


Figura 144: Propuesta de torres eólicas

Humidificación del aire de la ventilación

El análisis de la carta psicrométrica con los valores de las normales climatológicas de los años 1940-1970 ha sugerido que el aumento de los niveles de humedad para mejorar las condiciones higrotérmicas es viable. La desventaja del uso de las normales es que no obstante la precisión que le otorga el periodo de 30 años observado no refieren datos de manera horaria, es necesario un estudio más detallado partiendo de los datos horarios aunque provengan de un periodo más corto. Mediante el uso de las próximas gráficas psicrométricas se establece la disminución de temperatura que se puede lograr al aumentar diversas cantidades de humedad. Se ha procurado establecer una misma tasa de aumento de humedad común a la mayor cantidad de meses posible con la finalidad de reducir las veces que se requiere regular los sistemas de aspersión anualmente. Dentro de los meses del año donde es recomendable el aumento de la humedad se ha logrado definir dos grupos de meses con patrones de comportamiento higrotérmico que pueden ser mejorados mediante la adición de cantidades similares de agua.

El primer grupo está constituido por los meses de Marzo, Septiembre y Octubre donde el aumento de 2.2 gr. de agua por kg. de aire seco actúa con diversos niveles de eficiencia pero en todos los caso mejora la percepción de confort higrotérmico.

Primer grupo de meses en que se sugiere aumentar el nivel de la humedad relativa

MARZO

	Temp. ambiente	Corregida
7:00 hrs.	15.8 °C	sin cambio
8:00 hrs.	18.2 °C	sin cambio
9:00 hrs.	21.5 °C	sin cambio
10:00 hrs.	24.6 °C	19.2 °C
11:00 hrs.	26.3 °C	20.8 °C
12:00 hrs.	27.7 °C	22.3 °C
13:00 hrs.	28.8 °C	23.4 °C
14:00 hrs.	29.4 °C	24.0 °C
15:00 hrs.	29.8 °C	24.4 °C
16:00 hrs.	29.6 °C	24.2 °C
17:00 hrs.	28.7 °C	23.3 °C
18:00 hrs.	26.6 °C	21.2 °C

Aumento de humedad propuesto:
2.20 gr por kg de aire seco

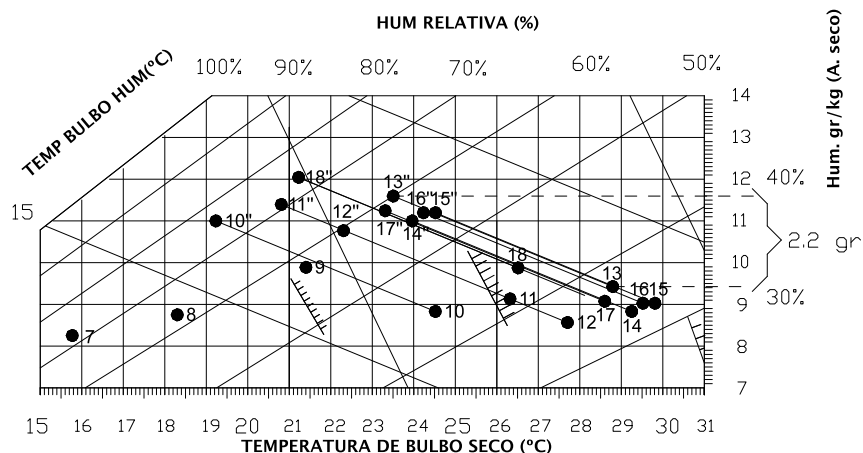


Fig. 145: Disminución térmica en La Paz (mes de Marzo) al aumentar 2.2 gr H₂O / kg aire, el incremento de humedad es de 10:00 a 18:00 hrs. y la temperatura siempre se mantiene inferior a 25°C

SEPTIEMBRE

	Temp. ambiente	Corregida
7:00 hs	25.0 °C	sin cambio
8:00 hs	27.0 °C	sin cambio
9:00 hs	29.7 °C	sin cambio
10:00 hs	31.7 °C	26.2 °C
11:00 hs	32.7 °C	27.3 °C
12:00 hs	34.1 °C	28.7 °C
13:00 hs	34.0 °C	28.6 °C
14:00 hs	33.6 °C	28.1 °C
15:00 hs	33.4 °C	27.9 °C
16:00 hs	33.2 °C	27.5 °C
17:00 hs	32.3 °C	26.6 °C
18:00 hs	30.8 °C	25.3 °C

Aumento de humedad propuesto:
2.20 gr por kg de aire seco

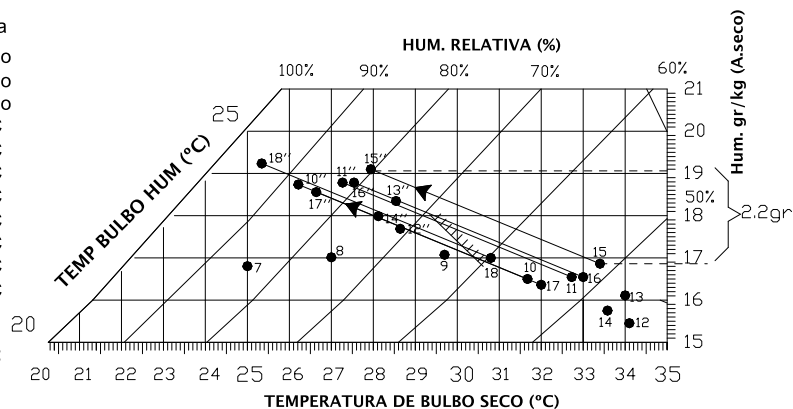


Fig. 146: Disminución térmica en La Paz (mes de Septiembre) al aumentar 2.2 gr H₂O / kg aire, el incremento de humedad es de 10:00 a 18:00 hrs. y la temperatura siempre se mantiene inferior a 29°C

OCTUBRE

	Temp. ambiente	Corregida
7:00 hs	19.9 °C	sin cambio
8:00 hs	22.1 °C	sin cambio
9:00 hs	26.7 °C	sin cambio
10:00 hs	29.6 °C	24.1 °C
11:00 hs	30.8 °C	25.3 °C
12:00 hs	31.6 °C	26.1 °C
13:00 hs	32.3 °C	26.8 °C
14:00 hs	32.3 °C	26.9 °C
15:00 hs	32.4 °C	26.9 °C
16:00 hs	32.0 °C	26.5 °C
17:00 hs	31.0 °C	25.5 °C
18:00 hs	29.5 °C	23.5 °C

Aumento de humedad propuesto:
2.20 gr por kg de aire seco

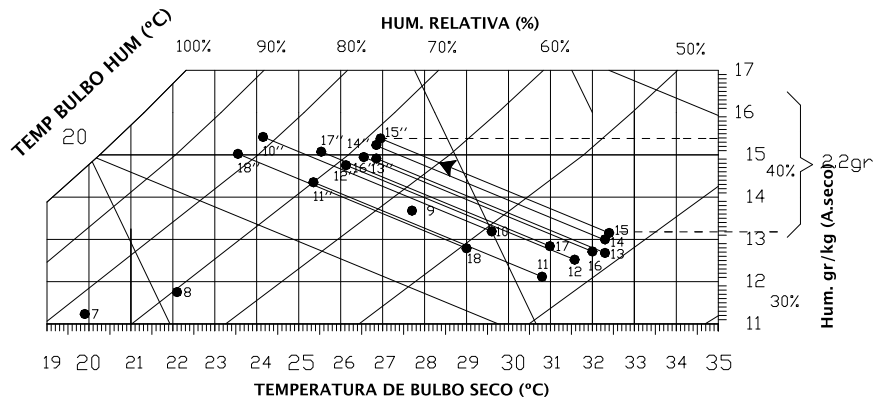


Fig. 147: Disminución térmica en La Paz (mes de Octubre) al aumentar 2.2 gr H₂O / kg aire, el incremento de humedad es de 10:00 a 18:00 hrs. y la temperatura siempre se mantiene inferior a 27°C

El segundo grupo de meses es el comprendido por Abril, Mayo y Junio donde se tolera una mayor cantidad de humedad en el ambiente y ésta puede aumentar hasta en un 3.6 gr de agua por kg. de aire seco. La disminución en la temperatura de estos meses es consecuentemente mayor.

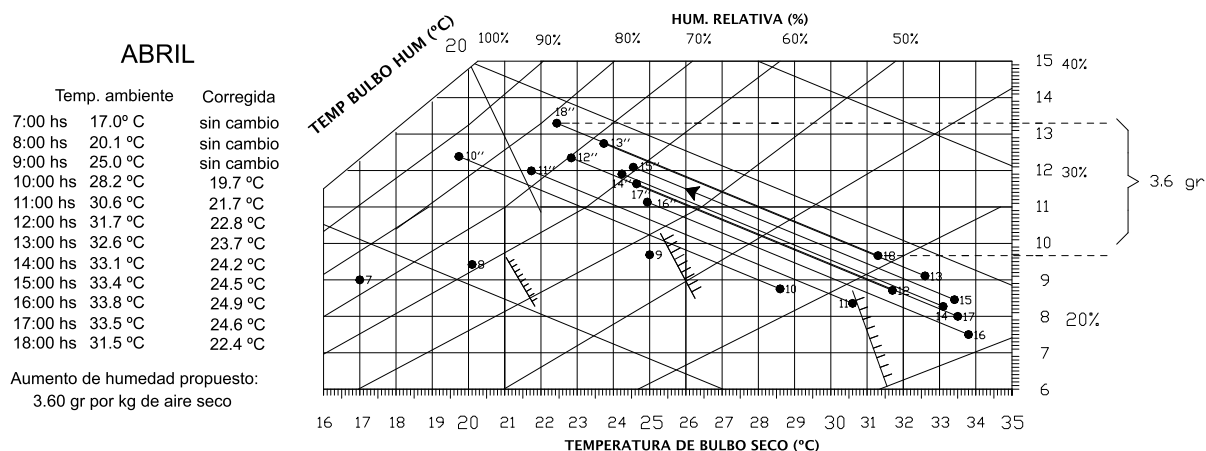


Fig. 148: Disminución térmica en La Paz (mes de Abril) al aumentar 3.60 gr H₂O / kg aire, el incremento de humedad es de 10:00 a 18:00 hrs. y la temperatura siempre se mantiene inferior a 25°C

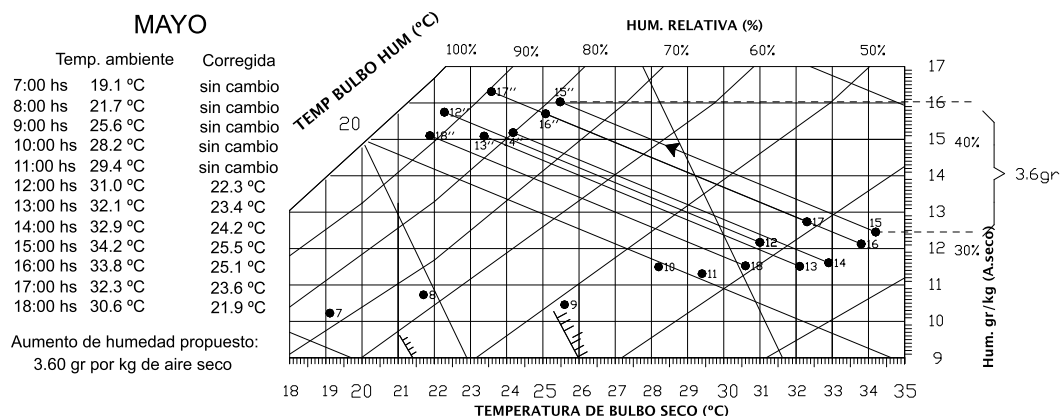


Fig. 149: Disminución térmica en La Paz (mes de Mayo) al aumentar 3.60 gr H₂O / kg aire, el incremento de humedad solo se aconseja desde las 12:00 hrs. y la temperatura siempre se mantiene inferior a 26°C

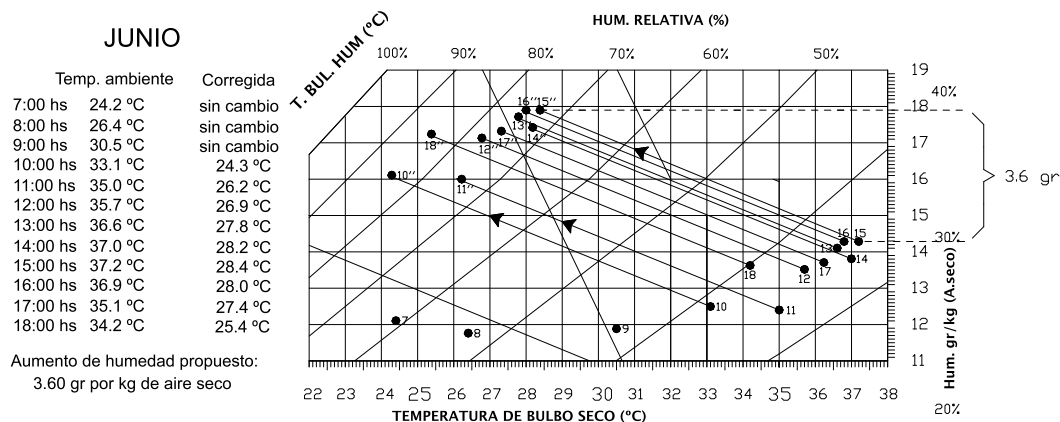


Fig. 150: Disminución térmica en La Paz (mes de Junio) al aumentar 3.60 gr H₂O / kg aire, el incremento de humedad es de 10:00 a 18:00 hrs. y la temperatura escasamente rebasa los 28°C

Area adicional de ventana

En este caso también se propone una zona de ventilación adicional en la parte superior del aula y que las adecuaciones no provoquen una mayor penetración solar que pueda resultar contraproducente permitiendo el paso de una considerable cantidad de calor.

Para esta ciudad se ha considerado que una de las losas a dos aguas se sitúe a un nivel superior a la otra con la finalidad de crear una ventana que pueda dejar escapar aire y que tenga una pequeña protección solar para impedir el paso del sol en los días más calurosos del verano. Esta alternativa permite el paso de cierta cantidad de insolación durante los meses más fríos del año por lo que su empleo es factible en climas donde no hay problemas de excesivo calentamiento en el invierno. Este sistema ya se ha implementado de manera aislada en algunas aulas de zonas cálidas (Fig. 151) por lo que se considera que es una alternativa asequible económicamente hablando.

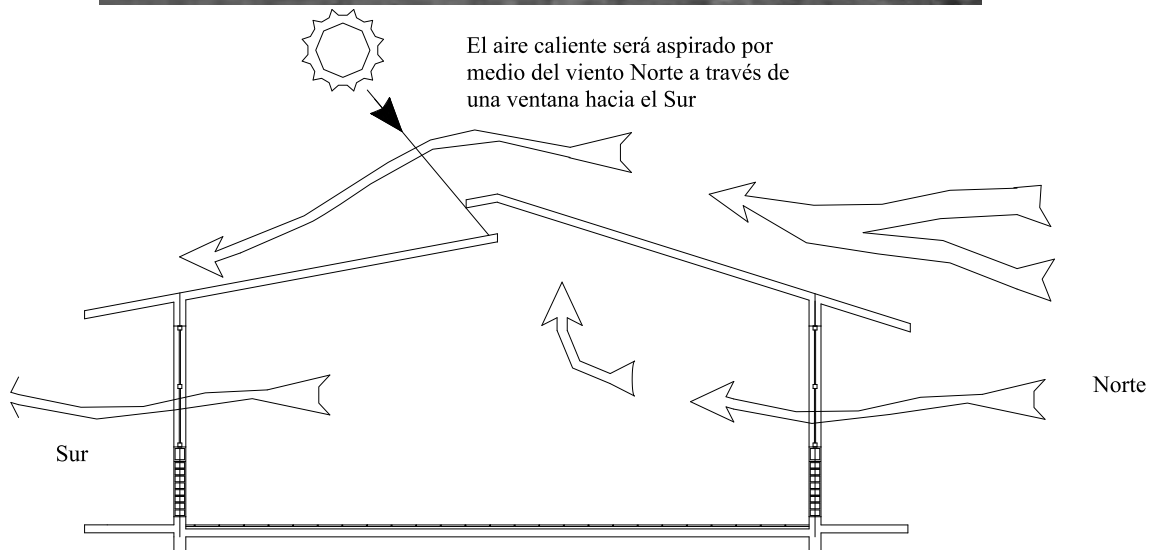


Fig. 151: Aulas CAPFCE en Sentispac, Nayarit.

Otra alternativa de ventilación es mediante el empleo de domos en cuya base se dispondrán rejillas para permitir que el aire más caliente se escape mediante efecto termoconvectivo (Fig. 152). La aplicación de estos domos es económica pero no es tan efectiva para captar vientos por lo que se considera que es una solución parcial cuyos beneficios son más claros para el confort lumínico.

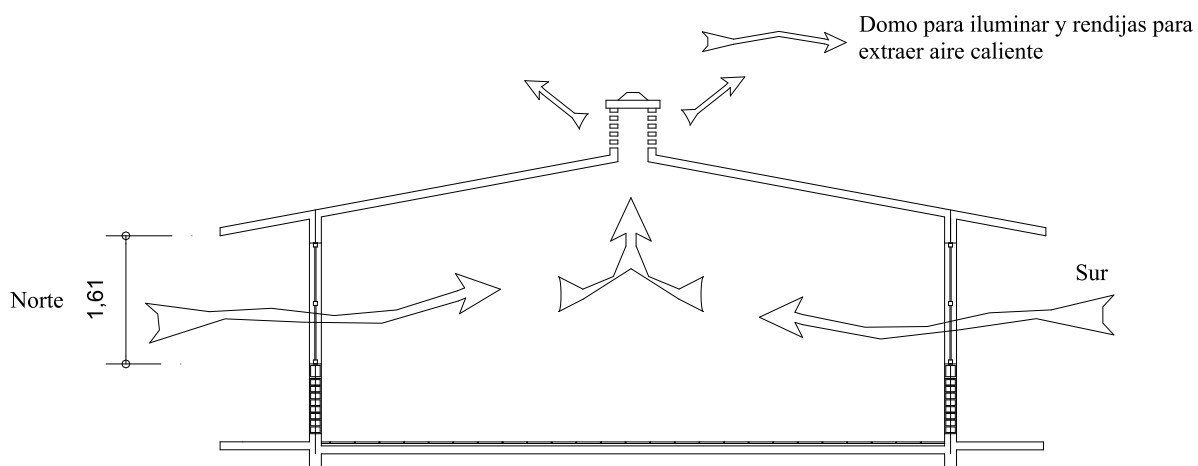


Fig. 152: Diagramas de ventilación a base de domos con rejillas

9.2.3 Propuesta de iluminación en La Paz

La maqueta de aulas para la ciudad de La Paz fue sometida a las mismas pruebas que en el caso de Acapulco con la única salvedad que el área de la ventilación extra es diferente y puede generar diferentes lecturas para las mismas condiciones cromáticas internas.

Debido a la menor velocidad de los vientos en La Paz se requiere un área extra de ventilación mayor que en Acapulco y consecuentemente se dispone de una mayor superficie de entrada de luz. Las mayores posibilidades de iluminación natural de esta ciudad no suponen mayores beneficios para el ejercicio de la docencia sobre el primer caso de estudio ya que los niveles logrados para aulas de Acapulco son buenos. Según Stein, 1977, «está claro que no hay una correlación entre los mayores niveles de luz y los resultados más efectivos en la relación enseñanza-aprendizaje», además el mismo Stein prosigue diciendo que la literatura oftalmológica no muestra evidencia de algún vínculo entre los niveles de iluminación y la salud de los ojos.

Por lo anterior se considerará suficiente que las aulas de La Paz logren obtener los niveles mínimos de iluminación que pide el reglamento de construcción y que cubran con las normas de uniformidad de niveles de iluminación en toda el aula.

9.3 EVALUACIONES DE DISEÑO EN LA PAZ

9.3.1 EVALUACION DE ENFRIAMIENTO

El estudio de balance térmico para definir el sistema aislante térmico en losas se basó en las condiciones térmicas de Abril que es el mes con mayor nivel de insolación sobre aulas dispuestas en la orientación Sur-Norte. El procedimiento para este cálculo fue el mismo que se utilizó para evaluar a la ciudad de Acapulco. Los resultados son los siguientes:

● Sistema de aula con losa sombreada (Fig. 153)

La eficiencia de esta técnica para disminuir la ganancia solar es clara. Las horas que presentan mayor insolación son las primera y las últimas de la jornada ya que en esos momentos los elementos que conducen calor al interior son los muros que no son beneficiados por ninguna protección. El comportamiento de la conducción de radiación solar en las horas cercanas al medio día es bastante favorable ya que las losas interceptan gran parte de la insolación y la ganancia solar total es demasiado baja en relación al resto del día. La desventaja de esta alternativa es que no provee protección contra la ganancia por conducción y el resumen de balance térmico señala que las ventajas del ahorro por insolación son contrarrestadas por las ganancias por conducción. El resultado es una ganancia térmica total mayor a los otros sistemas propuestos. La utilización de esta técnica no se considera viable para las aulas de CAPFCE por su baja eficiencia y por las complicaciones que supone la instalación de dispositivos de sombreado a toda la losa.

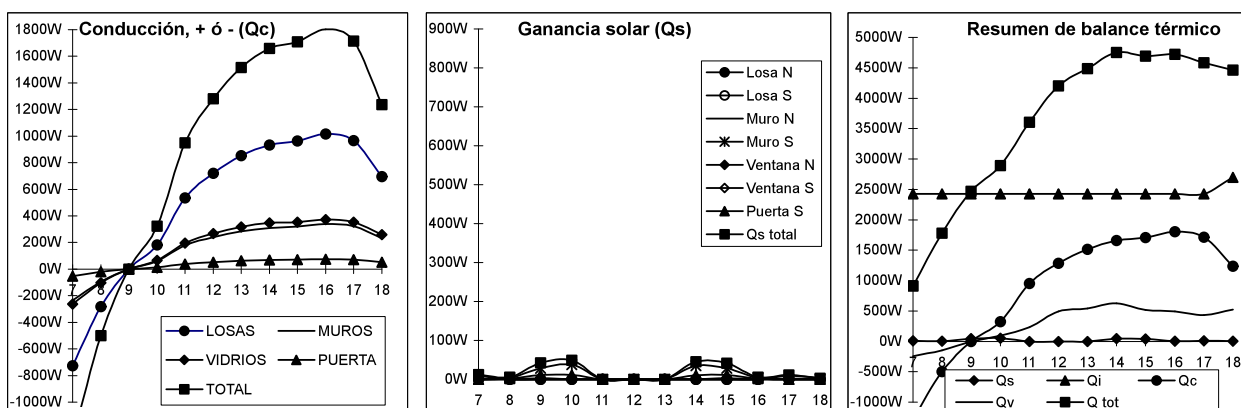


Fig. 153: Aula en La Paz con losa de concreto bajo sombra, orientación Norte-Sur al mes de Abril, la ganancia solar total en este sistema es muy baja sin embargo el aporte térmico por conducción, principalmente a través de losas se mantiene en niveles altos y el resumen de balance térmico arroja como resultado una escasa disminución en la ganancia térmica total.

- Sistema de aula cubierta por una placa poliuretano de 5 cms de espesor (Fig. 154)

Esta propuesta es la que tiene mejor comportamiento térmico en el resumen de balance. Cuando se emplea este sistema se puede apreciar que las ganancias internas son las más significativas a lo largo del día. La clara eficiencia de este material para reducir la conducción térmica hace que en las horas cercanas al medio día la ganancia solar total disminuya debido a que a esa hora las losas y sus volados interceptan a los rayos e impiden que lleguen a los muros y a su vez la losa de concreto armado recibe escasa transmisión de calor desde la placa de poliuretano. La disminución en la ganancia por radiación alcanza niveles donde es inferior a la ganancia por conducción. Este material también tiene claro impacto sobre la ganancia por conducción en losas y los elementos que más incrementan a esta ganancia son los muros y las superficies de acristalamiento. El potencial de aislamiento de este material para conducción y radiación es el mejor entre los sistemas estudiados y en el supuesto caso de su empleo los mayores esfuerzos para bajar la temperatura se deben centrar en la disipación de la ganancia térmica ganancia interna.

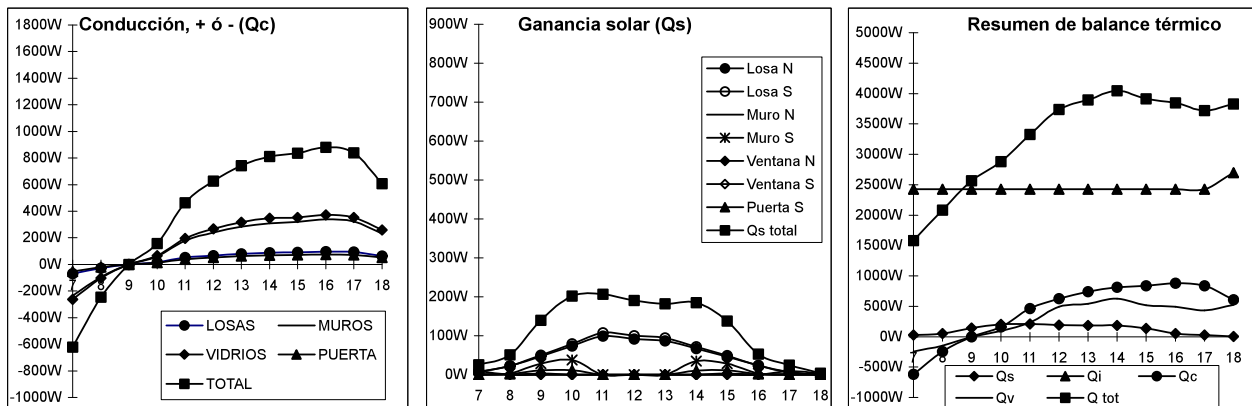


Fig. 154, Aula en La Paz con losa recubierta de poliuretano de 5 cm, orientación Norte-Sur (Abril): La ganancia solar se mantiene en niveles relativamente bajos a lo largo del día y sufre una disminución cerca del medio día a causa de los saledizos, el principal aporte por conducción son los cristales seguidos de los muros y el resumen de balance muestra una situación ligeramente más favorable que las demás.

- Sistema de aula con losas hechas a base de paneles de poliestireno de 5 y 10 cms

El empleo del panel de espesor de 10 centímetros resulta casi tan efectivo como el de poliuretano de 5 cms pero con un costo mayor. Esta ciudad tiene una radiación solar alta a lo largo del año por lo que se considera necesario disminuirla considerablemente. Los paneles de ambos espesores consiguen el efecto de disminuir el paso de calor de radiación a través de losa a tal punto de que a las horas cercanas al medio día se aprecia una reducción el valor de Q_s total.

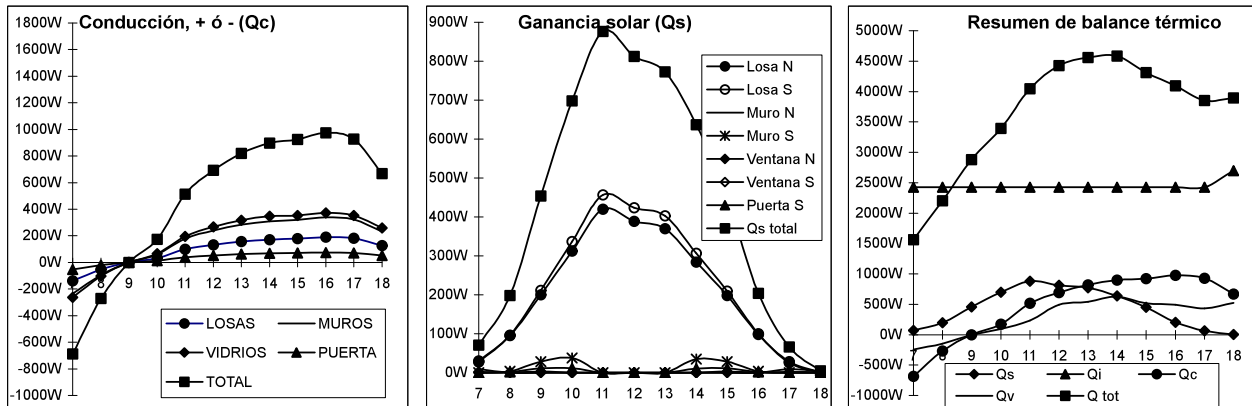


Fig. 155, Aula en La Paz con losa recubierta de poliestireno de 5 cms, orientación Norte-Sur (Abril): La ganancia solar por losas supera fácilmente al resto de los elementos teniendo sus puntos más conflictivos al medio día, a pesar del aumento de Q_s en losas con este material el mayor aporte por conducción es muros y ventanas, el resumen muestra una ganancia ligeramente mayor a los demás sistemas.

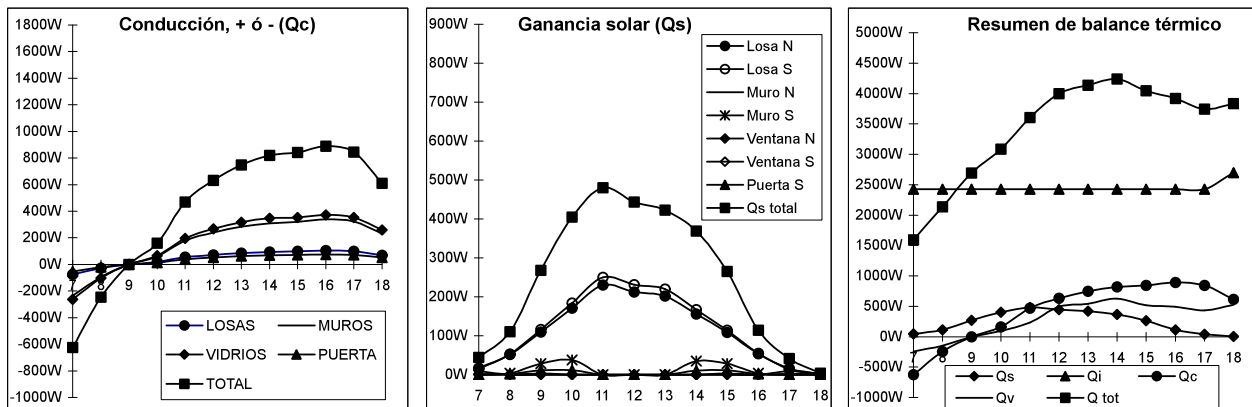
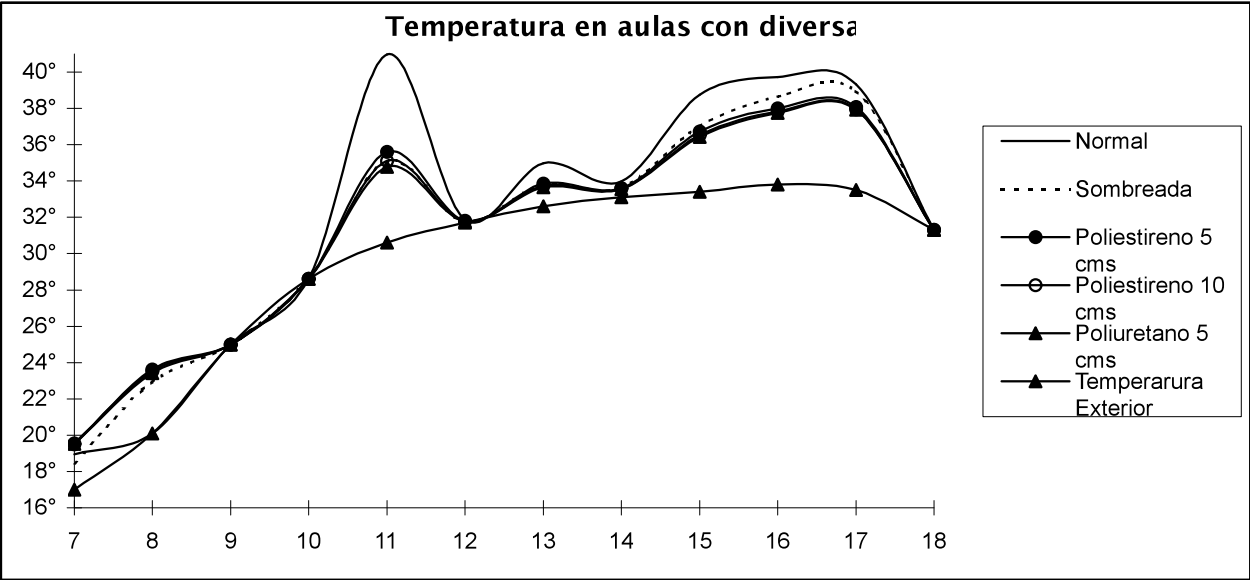


Fig. 156, Aula en La Paz con losa recubierta de poliestireno de 10 cms, orientación Norte-Sur (Abril): En este sistema el predominio de las losas como elementos receptores de ganancia solar es claro pero no tan grande como en otros tipos de losas, el impacto de las losas en la ganancia por conducción sigue jugando un papel secundario y el resumen de balance muestra una ganancia total situada en un nivel intermedio entre otras propuestas.

Elección de materiales para aislar la losa

Los resultados del balance térmico para esta ciudad indican que una vez que se usa cualquiera de los aislantes térmicos en losas que aprecian niveles de temperatura interna bastante similares (fig. 157). Los niveles de insolación en La Paz son mayores a los de Acapulco y la temperatura interna llega en las aulas normales hasta los 40 °C. Al igual que en el otro caso, el desempeño de los diversos aislantes es muy parecido.



TEMPERATURA EN AULAS CON DIVERSAS LOSAS PERO EN LAS CONDICIONES DE VENTILACION ACTUALES

Tipo de losa	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Normal	19,0	20,1	25,0	28,6	41,0	31,9	35,0	34,0	38,7	39,7	39,3	31,3
Sombreada	18,5	22,9	25,0	28,6	35,1	31,8	33,8	33,6	37,0	38,6	39,0	31,3
Poliestireno 5 cms	19,5	23,6	25,0	28,6	35,6	31,8	33,9	33,6	36,7	38,0	38,1	31,3
Poliestireno 10 cms	19,6	23,5	25,0	28,6	35,1	31,8	33,7	33,6	36,5	37,8	38,0	31,3
Poliuretano 5 cms	19,5	23,4	25,0	28,6	34,8	31,8	33,7	33,6	36,4	37,8	37,9	31,3
Temperatura Exterior	17,0	20,1	25,0	28,6	30,6	31,7	32,6	33,1	33,4	33,8	33,5	31,3

Fig. 157: Desempeño de diversos aislantes en el mes de Abril en aulas con área de ventilación actual, los niveles de temperatura en las aulas que tienen losas aislantes muestran valores parecidos entre sí mientras que el aula con la losa convencional es claramente más cálida.

Panel de poliestireno:

Espesor	Dimensiones del panel	Area de panel	Precio unitario	Precio por metro2	Rresistencia (R)
5 cm	1,22 x 2,44	2,98 m2	\$ 235	\$ 78,94	1,429 m2 °C / W

Espesor	Dimensiones del panel	Area de panel	Precio unitario	Precio por metro2	Rresistencia (R)
10 cm	1,22 x 2,44	2,98 m2	\$ 275	\$ 92,38	2,857 m2 °C / W

Relación entre los paneles de 5 y 10 cm	Dimensión del panel:	Precio por metro cuadrado	Resistencia (R)
	idéntica	El panel de 10 cm es 17,02 % más caro que el panel de 5 cm	El panel de 10 cm tiene el doble de resistencia que el panel de 5 cm

Panel de poliestireno: Conductividad $k = 0.035 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$

Precios promedio de varios casas de materiales de la ciudad de México en Julio de 2003

Poliuretano:

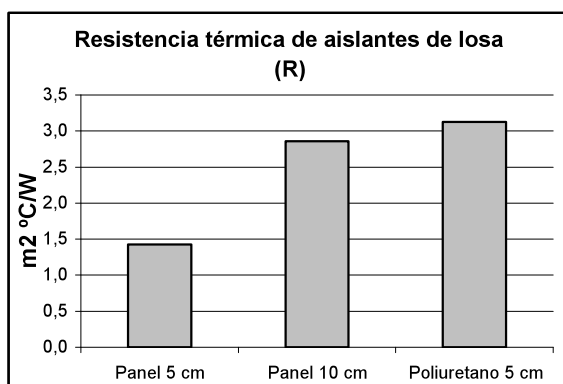
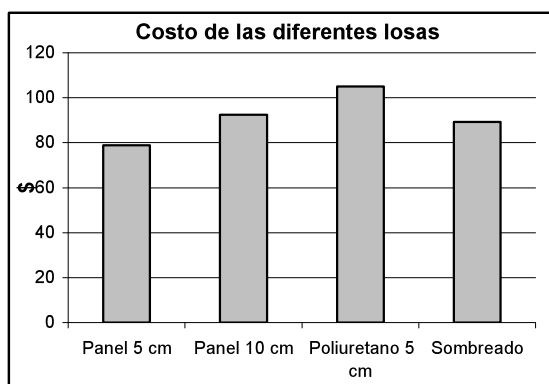
Espesor	Dimensiones del aula (mts)	Superficie de aula	Precio/aula	Precio por metro 2	Rresistencia (R)
5 cm	6 x 8	48,00 m2	\$ 5040	\$ 105,00	3,125 m2 °C / W

Capa de poliuretano: Conductividad $k = 0.016 \text{ (W/m } ^\circ\text{C)}$

Resistencia (R) : 3,125

Losa sombreada con fibra de fibroconcreto:

Espesor	Dimensiones la lámina (mts)	Superficie de aula	Precio/aula	Precio por metro 2
5 cm	0,61 x 0,93	0,57 m2	\$ 50,609	\$ 89,21



Ganancia térmica total en aulas de Acapulco al mes más cálido al medio día	Poliestireno (5 cms)	3514	Watts 12 hrs Mayo
	Poliestireno (10 cms)	3197	
	Poliuretano (5 cms)	2998	
	Aula sombreada	3116	

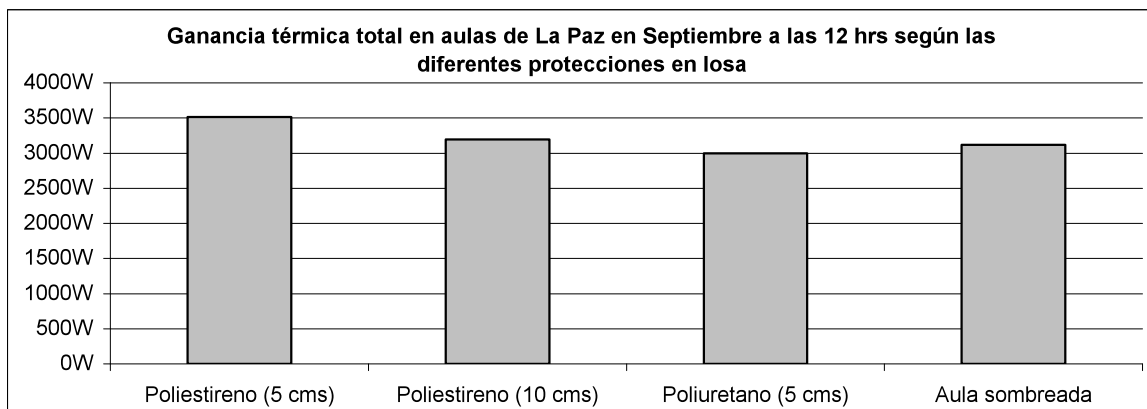


Fig. 158: Evaluación de viabilidad de los distintos materiales para aislar el techo, el panel de poliestireno de 5 cms es el más barato mientras que los beneficios de todas las propuestas son similares.

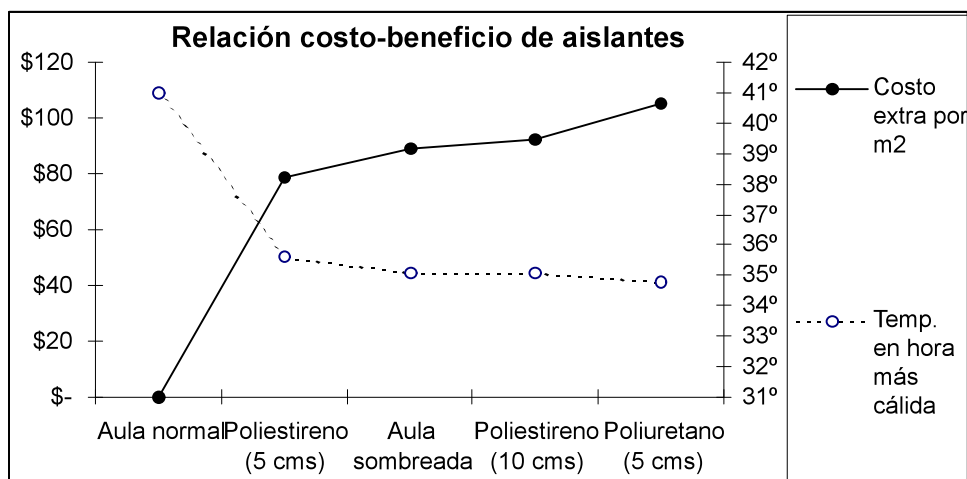


Fig. 159: Relación costo adicional - beneficio de los aislantes en el techo de aulas.

Conclusión de aislantes en losa:

El análisis de comportamiento térmico en losas consideró los mismos elementos aislantes del anterior caso de estudio y las diferencias en su desempeño fueron ocasionadas por las condiciones climáticas de la ciudad de La Paz. El resultado observado fue la clara conveniencia de las losas equipadas con elementos adicionales de aislamiento térmico. La mejora obtenida al emplear la losa sombreada es menos favorable de otras alternativas propuestas y su empleo supone un costo superior al poliestireno (fig.158). No se tiene considerado el empleo del sombreado puesto que su relación costo beneficio no es la mejor. El cálculo de balance térmico en aulas con paneles de poliestireno arrojó resultados que se acercaron bastante a los valores del poliuretano pero tienen un costo menor y son más fáciles de conseguir que dicho material.

La comparación entre los paneles de espesores de 5 y 10 cms da por resultado que cuando se utiliza el panel de 5 cms se observan ganancias solares totales de 9.92% superiores a cuando se utiliza al panel de 10 cms. Si se considera que el panel de 10 cms es 17% más caro que el de 5 cms se puede concluir que el aumento de costo y el aumento de beneficios se encuentran en una situación bastante parecida. El costo y beneficio de los dos espesores analizados de poliestireno son similares. De acuerdo a la gráfica de la figura 159 la relación más estrecha entre mayor incremento de costo y menor temperatura interna se logra con el poliestireno de 5 cms de espesor. De cualquier forma se aclara que también es viable el uso del poliestireno de 10 cms ya que el incremento al costo total de la obra es apenas perceptible. La elección final del material aislante para La Paz es el uso de :

- Panel de poliestireno de 5 cms de espesor en losa.

9.3.2 EVALUACION DE VENTILACION EN LA PAZ

El análisis de viento para esta ciudad se enfocó a los tres vientos dominantes, Norte, Sur y Noroeste. Los ángulos con que inciden en las aulas actuales y en las propuestas son 22.5, 45°, 67.5 y 90°.

Los casos de 45° y 90° (impacto perpendicular) no se ilustran puesto que ya han sido estudiados y se recuerda que se observó que el comportamiento es bueno en ambos para permitir la circulación del viento a través de las aulas. El caso en que el viento incide a 45° tiene el inconveniente de que una parte del volumen del aula no tiene mucho menor circulación de aire. En el caso de las dos aulas giradas a 22.5° que se propusieron se recomienda utilizar la que logra que los 3 vientos dominantes incidan a 67.5° ya que el aula que recibe el viento Noroeste a 27.5° no obtiene una buena tasa de ventilación (Fig. 160).

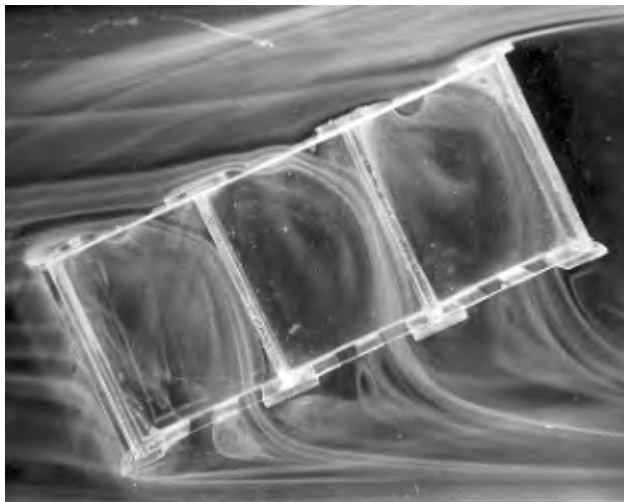


Fig. 160: Aula rotada a 22.5° con viento Noroeste

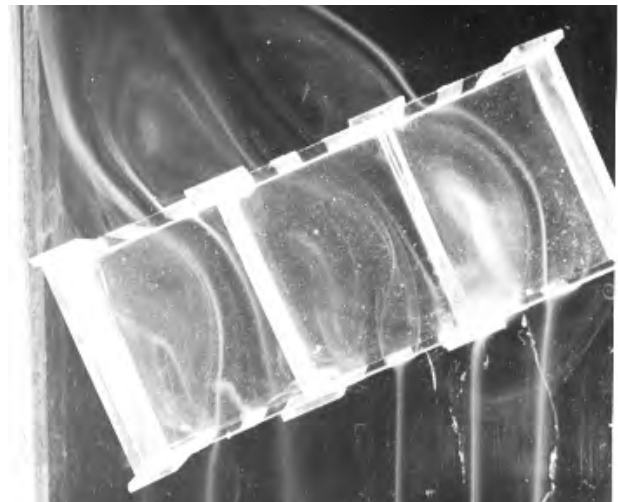


Figura 161: Impacto del viento a 67.5° sobre ventanas

El viento Noroeste que incide en el aula puede atravesar con relativa facilidad a las aulas pero en su recorrido por el interior solo pasa por una pequeña área del volumen del aula.

La disposición de la alternativa de aula girada a 22.5° respecto al diseño original cuya fachada principal que un en principio era Sur se convierte en Sur-sureste tiene una incidencia de viento a 67.5° que ha resultado ser efectiva (fig. 161)

Propuesta de área de ventilación extra hacia una sola fachada

Esta modificación del aula para mejorar la ventilación tiene como fin lograr un efecto de succión del aire caliente interior mediante los vientos que incidan sobre la parte contraria de la losa. Estas pruebas demostraron que el efecto deseado no se consiguió de manera satisfactoria ya que no se apreciaba una succión del aire interior y lo único que se puede observar es una sombra de viento que llega casi hasta el final de la losa principal del aula (fig. 162).



Fig. 162: Aula con ventilación de un solo lado

Estudio de orientación óptima mediante modelos matemáticos (La Paz)

Los criterios de selección de la orientación óptima de aulas para la ciudad de La Paz es la misma que se utilizó para la ciudad de Acapulco. De igual forma se manejaron la orientación actual, girada a 22.5° y girada a 45° .

La orientación actual fue estudiada debido a que resulta favorable para captar los vientos de dirección Sur y Norte que se presentan con frecuencia en las primeras y últimas horas de la jornada. La orientación de 22.5° se consideró por ser la que tiene capacidad de captar con el mismo ángulo de incidencia a los tres vientos más frecuentes de esta ciudad, 67.5° . La rotación en este caso es pequeña y no se prevé que pueda aumentar de manera considerable el aumento de la ganancia térmica producto del paso de la radiación solar a través de los cristales.

La orientación desviada en 45° del eje original se ha considerado por su eficiencia para captar los vientos dominantes de dirección Noroeste que se presentan en horas cálidas.

A continuación se muestran los resultados del balance térmico en aula que utilizan el aislante de poliestireno de 5 cms de espesor en losas en las tres orientaciones previstas. El análisis se realizó en el mes de Septiembre por ser considerado el de mayores problemas de confort higrotérmico.

● Análisis de aula con la orientación original y poliestireno de 5 cm en la cubierta (Fig. 163)

El comportamiento de las ventanas para captar los vientos del Norte y Sur es suficiente para mejorar la ventilación en la mayor parte del día siempre y cuando se aumente humedad en el ambiente. Únicamente en dos periodos horarios se registran temperaturas por encima del nivel de confort pero estas lecturas no llegan a los dos grados de diferencia.

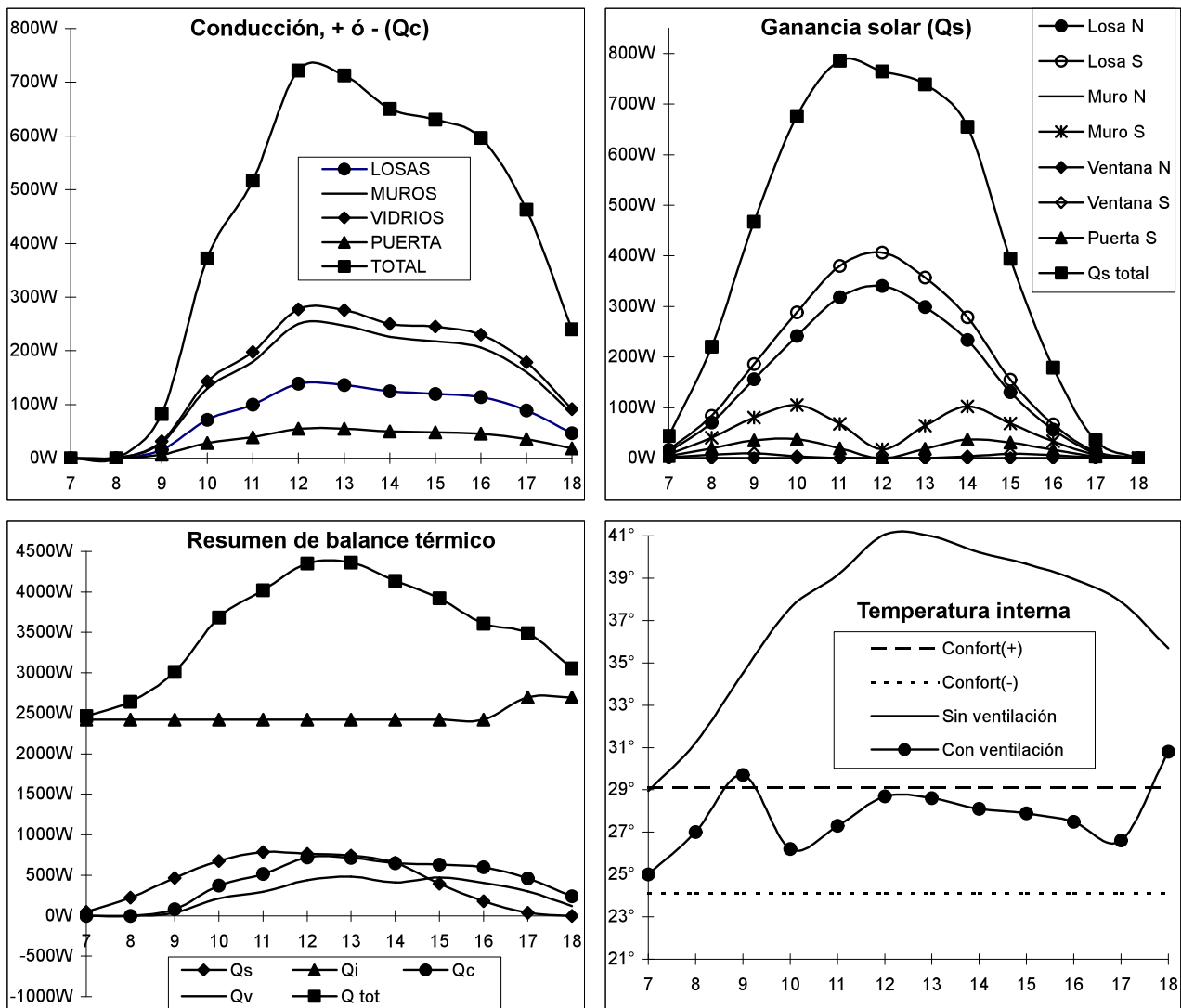


Fig. 163 Aula en orientación original con poliestireno (5 cm), con aumento de humedad, Septiembre: En esta orientación la ganancia solar se reparte en una proporción muy similar entre la mañana y la tarde siendo las losas y el muro Sur los elementos que más aportan, la ganancia por conducción es generada principalmente por muros y vidrios y las losas pasan a un tercer nivel, el resumen de balance térmico muestra predominio de ganancia interna durante todo el día y los vientos impactan favorablemente al aula la mayor parte del día logrando disipar el calor donde únicamente en dos ocasiones al día la temperatura rebasa por un escaso margen a la temperatura de confort.

● Análisis de aula con la orientación girada 22.5° y poliestireno (5 cm) en la cubierta (fig. 164)

Los resultados del balance térmico para esta orientación muestran resultados menos favorables a los obtenidos en la orientación actual. El caso de aula girada a 22.5° para mes de Septiembre no se puede considerar como la mejor orientación ya que los niveles máximos de temperatura llegan a exceder hasta por 4° al límite local de confort térmico.

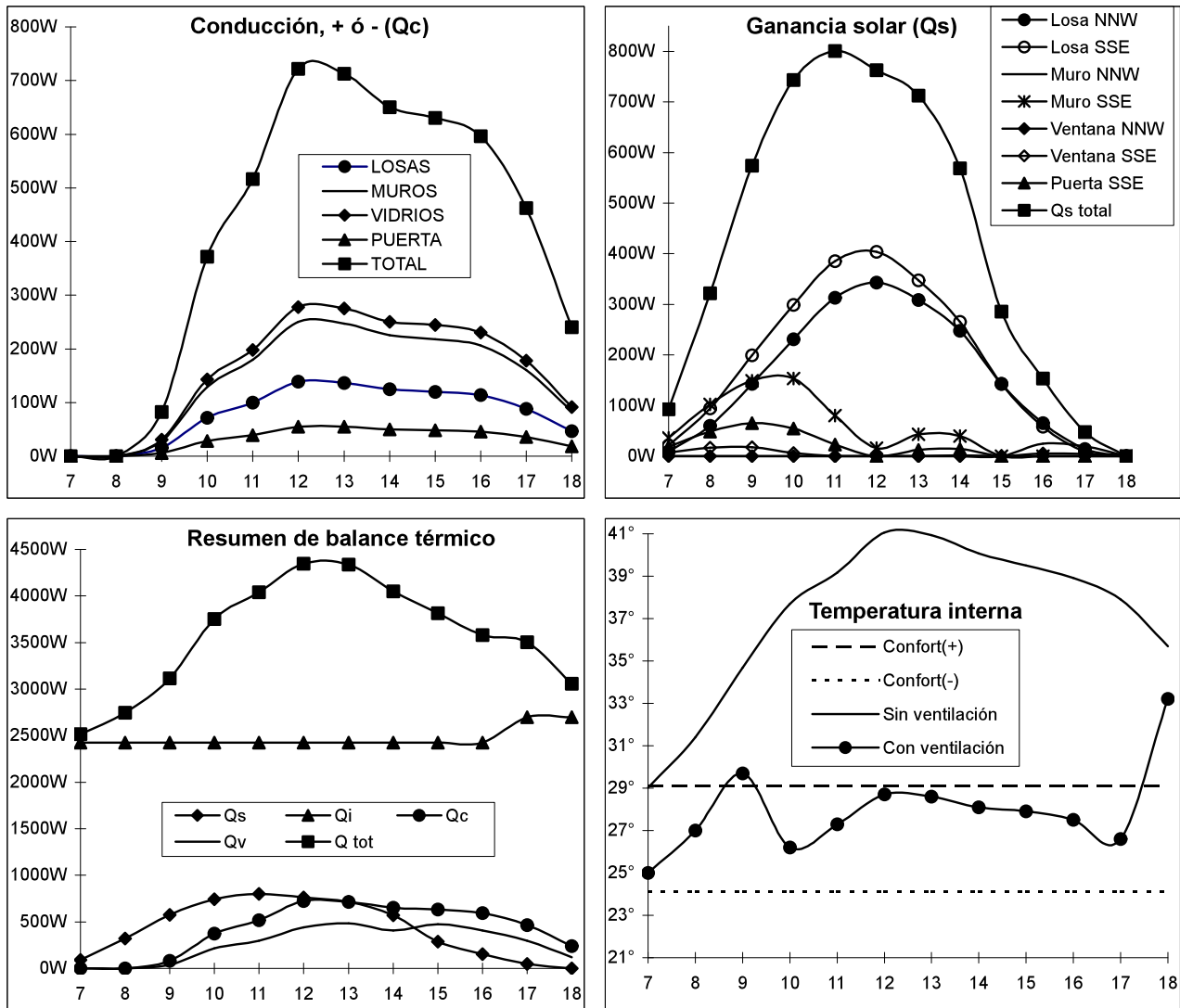


Fig. 164 Aula en orientación girada 22.5° con poliestireno (5 cm), con aumento de humedad, Septiembre: El cambio de orientación afecta en un bajo margen a la ganancia por conducción y el resultado es similar a las demás orientaciones, la mayor ganancia solar es captada a través de losas pero en total es mayor en la mañana ya que el muro SSE recibe mayor insolación en las primeras horas del día, el resumen de balance térmico es similar a los demás pero la ventilación es menos favorable que la propuesta anterior y en las últimas horas del día el calor tiene más problemas para ser disipado.

● Análisis de aula con la orientación girada 45° y poliéstireno de 5 cm en la cubierta (fig. 165)

Esta propuesta es la peor alternativa para el mes de Septiembre, las temperaturas interiores con el área de ventilación actual llegan a superar los 40°C. La mayor temperatura interior se debe en parte a que hay varias horas en que esta orientación es incapaz de captar los vientos NW. En este cálculo se apreció también que la ganancia solar aumenta debido a la menor eficiencia de los volados cuando hay una desviación del eje Sur-Norte de las aulas.

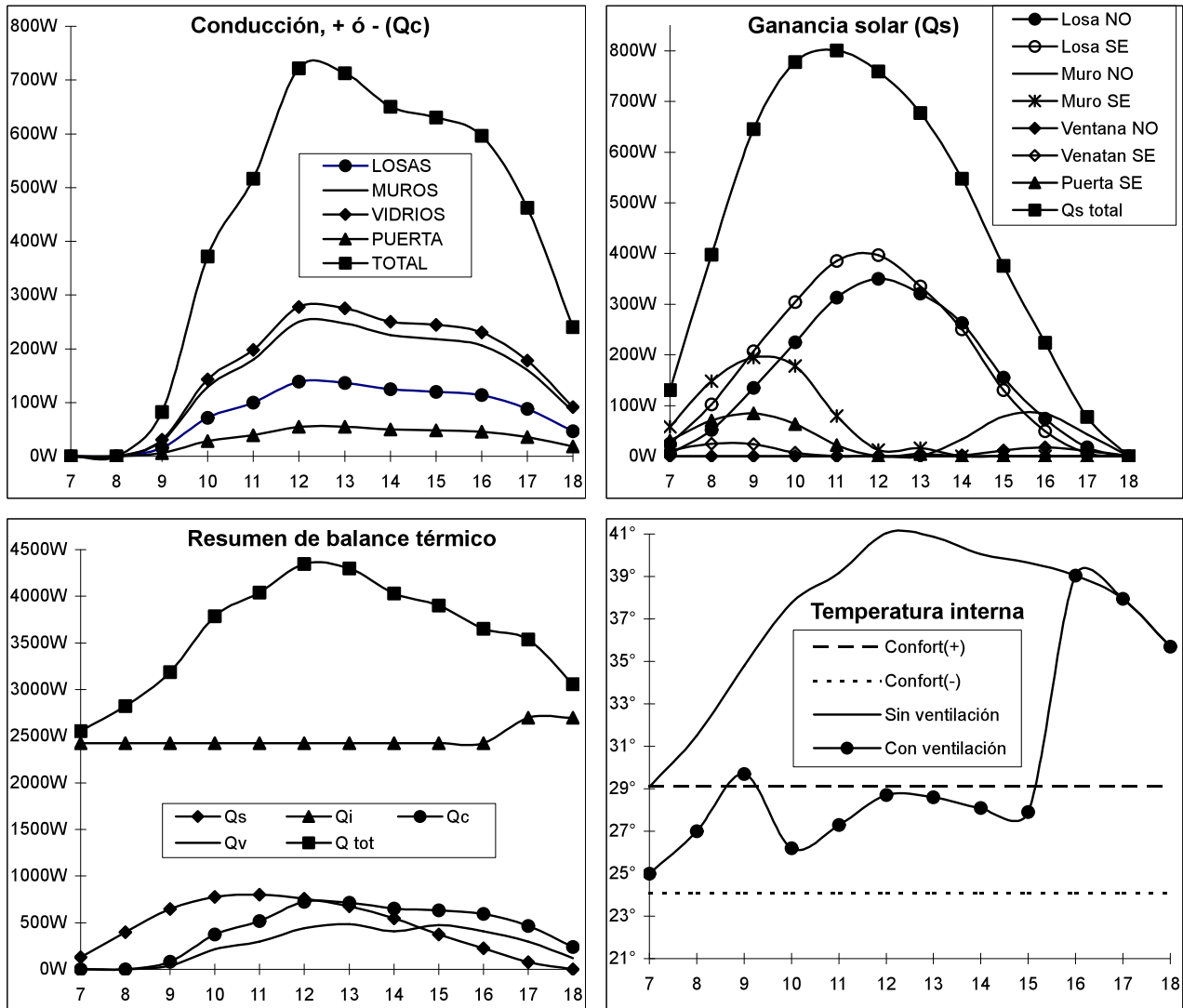


Fig. 165 Aula desviada 45° con poliéstireno de 5 cms, con aumento de humedad, Septiembre: Las condiciones de esta orientación son similares a la propuesta girada a 22.5° en cuanto a conducción y ganancia solar pero en este caso es más claro la mayor insolación en las primeras horas del día, sin embargo la ganancia máxima horaria es similar en las tres propuestas ya que las losas tienen ganancias similares sin importar la orientación, la temperatura interna en este caso es la menos favorable ya que es donde los vientos tienen más dificultad para penetrar y una buena parte del día registra situaciones fuera de los parámetros de confort.

Relación de ángulos de incidencia del viento sobre las fachadas con entradas de ventilación en las aulas de La Paz según las tres orientaciones propuestas (fig. 166). Mientras más se acerque a 90° la cifra de cada periodo horario más efectiva es la ventilación.

ENE	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Prom.	Mejor opción 45°
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	0,0	90,0	30,0	
22,5	0,0	0,0	0,0	22,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	22,5	67,5	43,1	
45,0	0,0	0,0	0,0	45,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	45,0	45,0	56,3	
FEB	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Prom.	Mejor opción 45°
0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	67,5	35,6	
22,5	0,0	0,0	0,0	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	90,0	52,5	
45,0	0,0	0,0	0,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	67,5	65,6	
MAR	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Prom.	Mejor opción 22,5°
0,0	67,5	67,5	90,0	90,0	45,0	45,0	45,0	0,0	67,5	67,5	90,0	90,0	63,8	
22,5	90,0	90,0	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	22,5	90,0	90,0	67,5	67,5	71,3	
45,0	67,5	67,5	45,0	45,0	90,0	90,0	90,0	45,0	67,5	67,5	45,0	45,0	63,8	
ABR	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Prom.	Mejor opción 45°
0,0	67,5	90,0	90,0	90,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	90,0	61,9	
22,5	90,0	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	69,4	
45,0	67,5	45,0	45,0	45,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	45,0	73,1	
MAY	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Prom.	Mejor opción 0°
0,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	45,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	86,3	
22,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	
45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	
JUN	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Prom.	Mejor opción 0°
0,0	67,5	90,0	90,0	90,0	90,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	90,0	90,0	69,4	
22,5	90,0	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	22,5	67,5	67,5	65,6	
45,0	67,5	45,0	45,0	45,0	45,0	90,0	90,0	90,0	90,0	0,0	45,0	45,0	58,1	
SEP	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Prom.	Mejor opción 0°
0,0	67,5	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	45,0	45,0	45,0	45,0	73,1	
22,5	90,0	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	22,5	22,5	22,5	58,1	
45,0	67,5	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	90,0	0,0	0,0	0,0	39,4	
OCT	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Prom.	Mejor opción 0° y 22,5°
0,0	0,0	0,0	90,0	45,0	45,0	45,0	67,5	67,5	67,5	90,0	90,0	90,0	58,1	
22,5	0,0	0,0	67,5	22,5	67,5	67,5	90,0	90,0	90,0	67,5	67,5	67,5	58,1	
45,0	0,0	0,0	45,0	0,0	90,0	90,0	67,5	67,5	67,5	45,0	45,0	45,0	46,9	
NOV	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Prom.	Mejor opción 0°
0,0	90,0	0,0	90,0	90,0	90,0	45,0	45,0	45,0	45,0	90,0	90,0	45,0	63,8	
22,5	67,5	0,0	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	61,9	
45,0	45,0	0,0	45,0	45,0	45,0	90,0	90,0	90,0	90,0	45,0	45,0	90,0	60,0	
Dic	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Prom.	Mejor opción 45°
0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	90,0	90,0	45,0	41,3	
22,5	0,0	0,0	0,0	22,5	22,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	43,1	
45,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,0	90,0	90,0	90,0	45,0	45,0	90,0	45,0	

Fig. 166: Tabla de ángulos de incidencia de viento sobre diversas fachadas

Estimando los resultados de todos los meses del año se puede concluir que la orientación del diseño actual es la que se comporta mejor para captar los vientos de esta ciudad. Debido a que esta orientación es la que tiene menor penetración solar a través de ventanas a las horas más cálidas se ha decidido conservarla.

La orientación más adecuada ha sido

- Aula sobre el eje Norte Sur (orientación original)

Area adicional de ventilación

El análisis de necesidades de ventilación de un aula del diseño original (fig. 167) reveló que es necesario un promedio de 1.49 m² de área de ventilación adicional para poder disipar el calor y obtener niveles de temperatura similares a la temperatura exterior.

Si tomamos en cuenta que la zona donde se pretende colocar la ventana adicional mide 6 metros de largo se requiere que el alto del vano sea de 25 centímetros. Siguiendo el mismo criterio de la ciudad de Acapulco se puede aumentar en un 50% esta superficie y el resultado será una ventana de 6 metros de largo por 37 centímetros de alto.

Los criterios de selección de la forma del área de la ventilación se han basado en las apreciaciones de las pruebas realizadas en las aulas de Acapulco y no se consideran las propuestas que ya se estudiaron y que resultaron ser poco favorables.

El estudio de la propuesta adicional de salida superior de viento para la ciudad de La Paz resultó ser poco funcional por lo que se tiene pensado en un diseño como el de Acapulco pero con mayores dimensiones según las especificaciones obtenidas por medio de los balances térmicos.

Hora	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Prom.
ENE	C	C	C	N.I.	21,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	N.V.	19,1	5,8
FEB	C	C	C	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
MAR	N.V.	N.V.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	N.I.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ABR	N.V.	N.V.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MAY	N.V.	N.V.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
JUN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SEP	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
OCT	C	C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NOV	N.V.	C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	81,2	8,1
DIC	C	C	C	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	0,7	0,8

C = Calma

N.I. = Nula incidencia del viento a la venatana

N.V. = No se requiere ventilar

Fig. 167: Superficie de entrada de aire extra necesaria en situaciones en que el contenido de humedad del aire ha sido aumentado.

El estudio de ventilación para esta ciudad no repite las propuestas que en el caso de Acapulco se probaron poco efectivas, tan solo se analizaron las mismas dos alternativas que en la citada ciudad resultaron más exitosas. La única variante entre estas dos opciones es la posición de las trabes que soportan la cumbrera de la losa.

Las dos propuestas preliminares de diseño para incentivar la ventilación adicional en la parte superior de las aulas fueron sometidas a pruebas dentro de cajas de viento, los resultados se distinguen fácilmente entre sí.

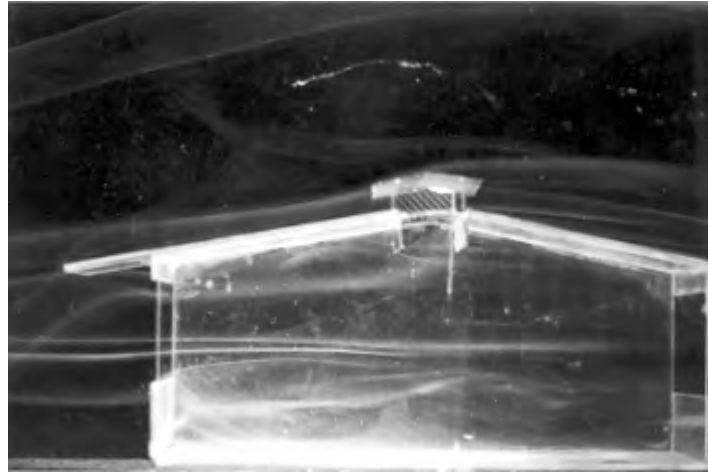
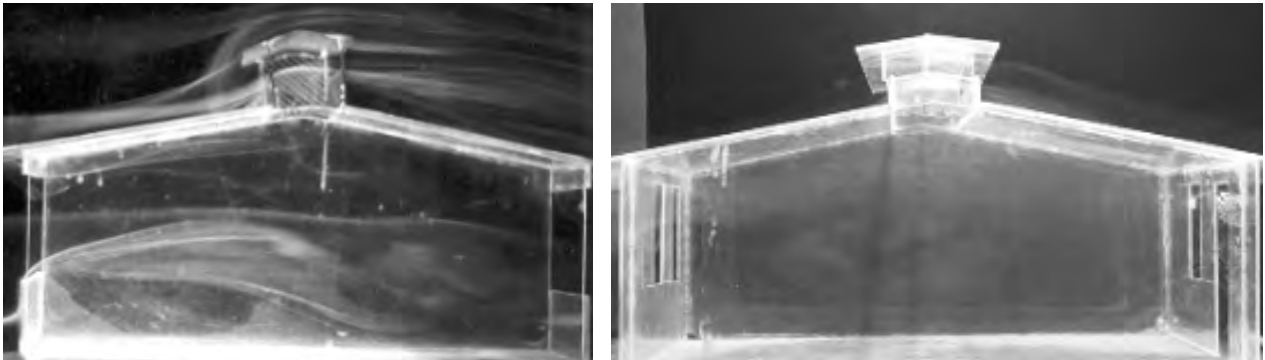


Fig. 168: Aula con ventilación extra donde las trabes están al interior del aula

En la figura 168 se puede apreciar que las vigas de concreto armado dificultan el movimiento de aire en la parte superior de las aulas y por la misma causa la aspiración se ve disminuida también. Las corrientes de aire atraviesan la ventana de la cumbrera sin conseguir claros beneficios en la aspiración de aire de interior.



Figs. 169 y 170: Aulas con trabes hacia el exterior. (izq. Caja de viento, der. túnel de viento)

Las propuestas de las figuras 169 y 170 se muestran más eficaz para dispar el calor por medio de succión puesto que el efecto Venturi que se aprecia puede incentivar la aspiración del aire mediante la acción del viento que pasa por encima de las losas y que tiene impacto sobre la cumbrera creando zonas de presión negativa y positiva que logran el efecto deseado.

9.3.3 EVALUACION DE ILUMINACION EN LA PAZ

Los niveles de iluminación de las aulas son buenos tanto cualitativa como cuantitativamente cuando el diseño original se ve favorecido con un área de ventilación adicional y con cualquiera de los dos colores de muros interiores propuestos se puede disfrutar de una correcta iluminación. Los niveles de iluminación de las aulas de La Paz con ventilación extra se expresan mediante la siguiente figura (171):

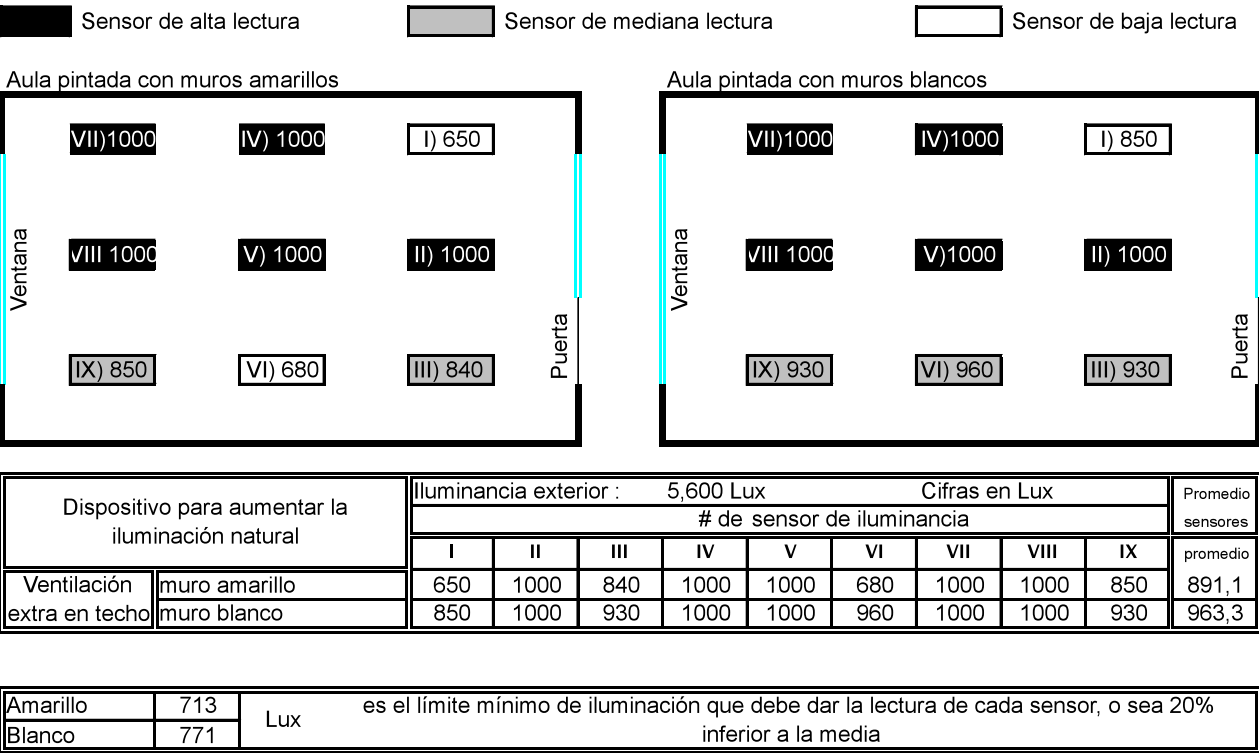


Figura 171: Gráficas de resultados de iluminación en aulas

9.4 CONCLUSIONES

9.4.1 DISEÑO FINAL DE AULA PARA LA PAZ

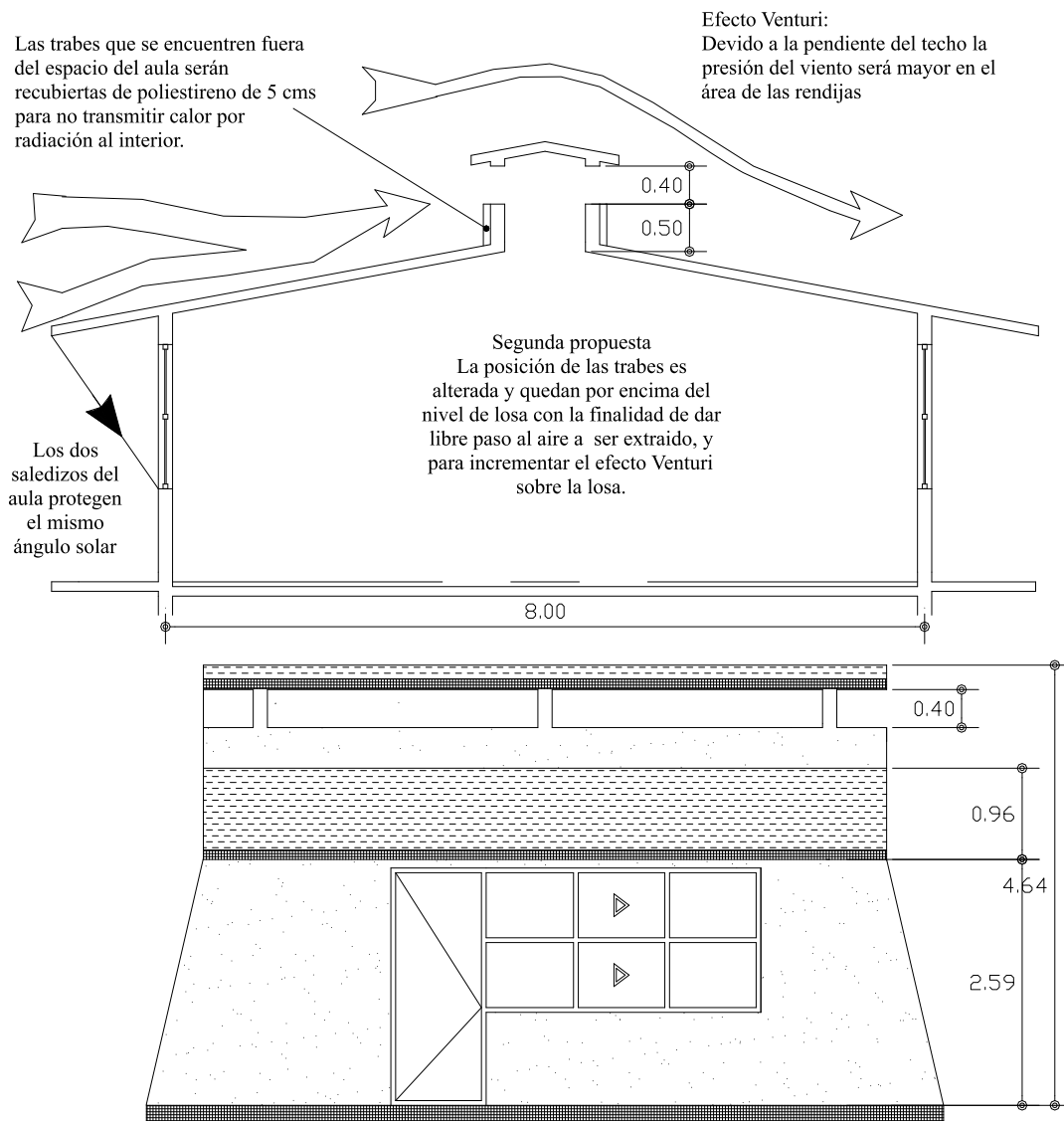


Fig. 172, Diseño final para las aulas de la ciudad de La Paz

Principales características de las aulas:

- Losas hechas a base de poliestireno de 5 cms con acabado de alta reflectancia
- Mismo ángulo de protección solar provisto por los saledizos
- Aumento de zona de ventilación en la zona de la cumbrera
- Misma orientación de la planta arquitectónica

9.4.2 CONCLUSIONES DE ENFRIAMIENTO EN LA PAZ

Las simulaciones del balance térmico demostraron que el clima de esta ciudad hace necesario que el panel de poliestireno de la losa tenga un espesor de por lo menos 5 cms debido a la alta radiación del desierto en donde se recomienda la aplicación de un acabado impermeabilizante sobre losas de alta reflectancia de por lo menos 87%. En los modelos matemáticos realizados sobre aulas equipadas con dicho aislamiento térmico se logró disminuir de manera considerable el aporte total de la ganancia solar por dos vías; la conducción térmica a través de losas y el impacto de la radiación sobre los muros.

Estudio de insolación según gráfica gnomónica:

Se decidió tomar en cuenta las condiciones de radiación a las 15:00 h. por ser el momento más cálido y porque los casos de estudio a las 12:00 de distintos meses manifiestan pocas diferencias ya que a esa hora es cuando los volados son más eficientes para proteger a muros y cristales.

El estudio de asoleamiento para la propuesta final de aulas en La Paz toma en cuenta la misma orientación que las aulas actuales, fachadas hacia el norte y hacia el sur, y puede ser observado en capítulo 6. La única diferencia entre el diseño actual de aulas y la propuesta es el área de ventilación en la cumbrera que tiene un ángulo de protección solar igual al de las losas normales.

El método gnomónico ha demostrado la conveniencia de seguir utilizando la orientación actual ya que impide el paso del sol en las horas más cálidas del verano (fig. 173) y los volados pueden proteger ventanas e incluso una buena parte de los muros norte y sur. Un leve giro a 22.5° puede facilitar un poco de penetración solar en el verano (fig. 174). Las ventajas del uso del eje norte-sur son claras en esta ciudad de alto nivel de radiación solar.

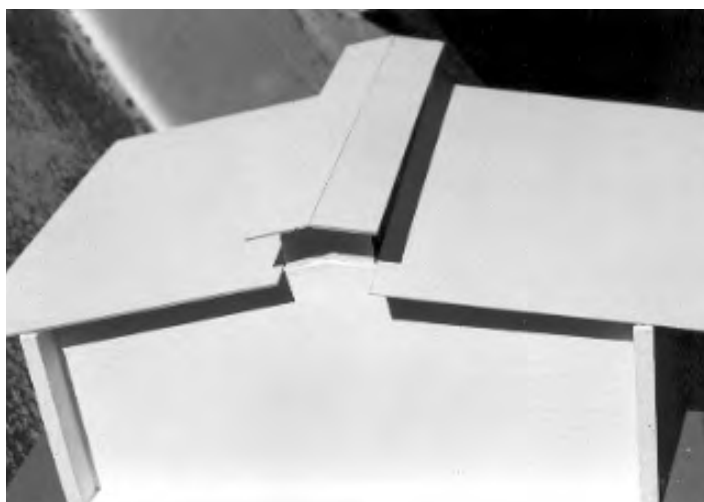


Fig. 173: Aula girada 0.0° , 21 de Junio, 15 hrs.

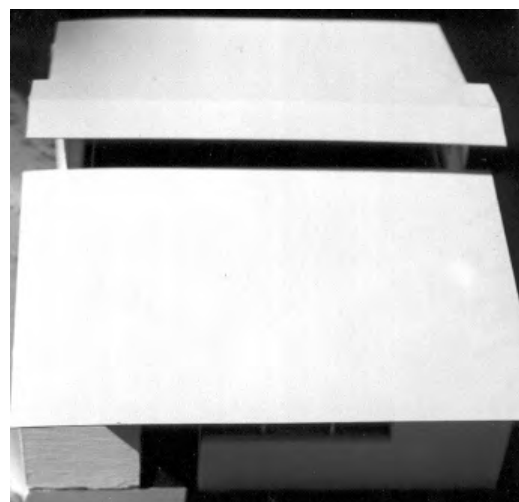


Fig. 174: Aula girada 22.5° , 21 Junio, 15 hrs

9.4.3 CONCLUSIONES DE VENTILACION EN LA PAZ

La aplicación del área de ventilación adicional aunada a la rotación de la fachada es suficiente para lograr una ventilación suficientemente efectiva como para lograr temperaturas interiores similares a las del aire exterior, de hecho la simple rotación de la fachada basta en algunos meses para que no se requiera del área adicional de ventilación en la zona de la cumbrera de las losas.

Es importante señalar que el hecho de que la ventilación sea eficiente no necesariamente logra una situación de confort óptima en estos climas donde la temperatura es muy alta. Sin embargo esta ventilación puede coadyuvar al enfriamiento evaporativo de los seres vivos.

Para los meses del año con temperaturas más altas y niveles de humedad relativa más bajos se recomienda el uso de humidificadores de aire como auxiliares en la disminución de la temperatura interna. Esta estrategia solo es requerida para algunos meses del año y su comportamiento se expresa mediante la tabla psicrométrica.

Varios de los meses que tienen valores máximos de temperatura al límite de confort anual se ubican dentro del radio de alcance de la ventilación como medio de control y no requieren humedad extra para entrar en la zona de confort.

Los meses de clases entre Mayo y Octubre son los que requieren de un aumento en el nivel de humedad en el ambiente para acceder a la zona de confort. El mes más crítico de este grupo es Septiembre debido a su alta humedad relativa. En la carta psicrométrica (Fig. 146) se puede apreciar que los valores del aire exterior para la hora más cálida son de 34.7°C y una humedad del 46% teniendo una presencia de humedad de 17.5 gramos por kilogramo de aire seco, si este contenido de humedad se aumenta a 19.5 gramos por kilogramo de aire seco se obtendrá una temperatura de 29.5°C y una humedad relativa de 75%.

Las condiciones logradas mediante el aumento de 2 gr/kg de aires seco se prestan para hacer viable el uso de la ventilación y obtener niveles de confort aceptables.

Si se le aumenta al actual diseño el área de ventilación recomendada y se agrega humedad al ambiente es posible lograr confort para los estudiantes.

De acuerdo al aumento de humedad tolerado para cada mes, y al número de cambios por hora que se registran en las aulas para esos meses, la cantidad de agua necesaria para cada mes es la siguiente:

Marzo: 13.06 lts de agua/ hora, en 8 horas de uso, 104.5 litros/ día. La disminución es de 5.25°C

Septiembre: 17.38 lts de agua/ hora, en 8 horas de uso, 139 litros/ día. La disminución es de 4.5°C

Octubre: 10.47 lts de agua/ hora, en 8 horas de uso, 83.76 litros/ día. La disminución es de 7.5°C

Abril: 20.86 lts de agua/ hora, en 8 horas de uso, 166.88 litros/ día. La disminución es de 9.0°C

Mayo: 35.54 lts de agua/ hora, en 7 horas de uso, 248.78 litros/ día. La disminución es de 8.75°C

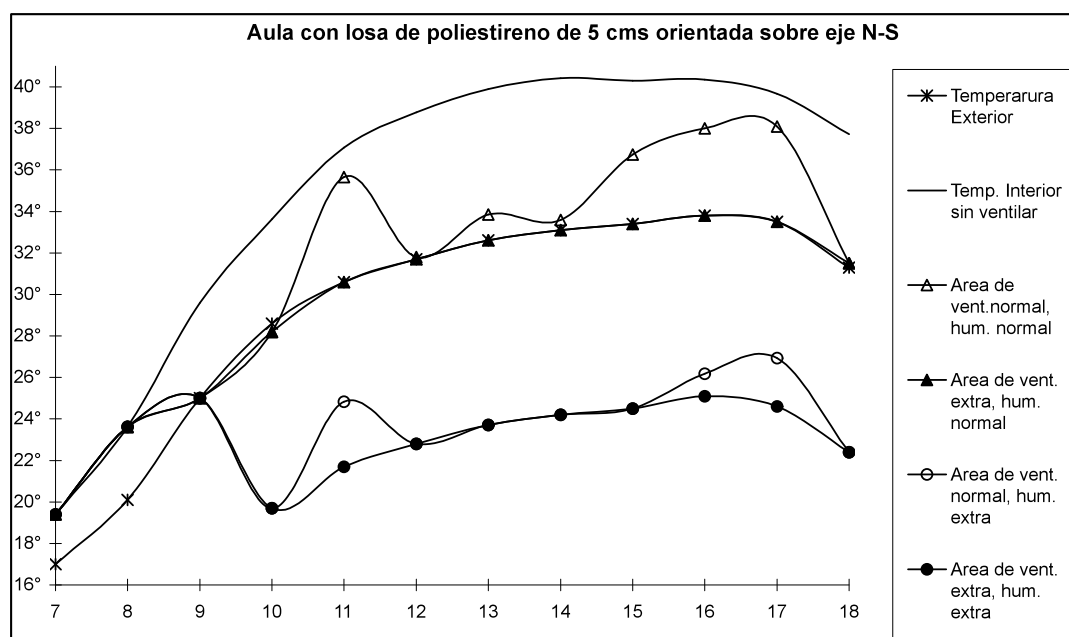
Junio: 23.37 lts de agua/ hora, en 8 horas de uso, 186.96 litros/ día. La disminución es de 8.75°C

El mes que requiere de mayor cantidad de agua es Mayo sin importar que sea el único que solamente utiliza el sistema 7 horas al día en vez de 8.

Niveles de temperatura de acuerdo a las condiciones de ventilación (fig. 175):

El mes de Abril requiere forzosamente de ventilación, el aula que mantiene las ventanas cerradas se mantiene muy caliente la mayor parte del día.

El aula que tiene las condiciones de ventilación de las situaciones actuales es la que registra mayores fluctuaciones a lo largo del día a causa de su gran dependencia de las condiciones de viento. El aula que ha sido equipada con mayor área de ventilación logra tener niveles bastante similares a la temperatura exterior en la mayor parte del día, sin embargo la temperatura exterior llega a rebasar los niveles de confort.



Niveles térmicos en aulas con losas de poliestireno de 5 cms., en la orientación actual												
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Temperatura Exterior	17,0°	20,1°	25,0°	28,6°	30,6°	31,7°	32,6°	33,1°	33,4°	33,8°	33,5°	31,3°
Temp. Interior sin ventilar	19,4°	23,6°	29,6°	33,6°	37,1°	38,8°	39,9°	40,4°	40,3°	40,4°	39,7°	37,7°
Area de vent.normal, hum. normal	19,4°	23,6°	25,0°	28,2°	35,7°	31,8°	33,9°	33,6°	36,7°	38,0°	38,1°	31,5°
Area de vent. extra, hum. normal	19,4°	23,6°	25,0°	28,2°	30,6°	31,7°	32,6°	33,1°	33,4°	33,8°	33,5°	31,5°
Area de vent. normal, hum. extra	19,4°	23,6°	25,0°	19,7°	24,8°	22,8°	23,7°	24,2°	24,5°	26,2°	26,9°	22,4°
Area de vent. extra, hum. extra	19,4°	23,6°	25,0°	19,7°	21,7°	22,8°	23,7°	24,2°	24,5°	25,1°	24,6°	22,4°

Fig. 175: Niveles térmicos en aula con losa de poliestireno de 5cms de espesor en el mes de Abril

La alternativa que añade humedad al ambiente tiene claras variaciones de temperatura a lo largo del día pero se mantiene dentro de la zona de confort. La propuesta de aula que además de tener niveles de humedad adicionales tiene un área extra de ventilación logra niveles de confort a lo largo de todo el día y además es la alternativa que mantiene más constante su temperatura.

9.4.4 CONCLUSIONES DE ILUMINACION EN LA PAZ

El estudio de las aulas equipadas con domos no considerará para la ciudad de La Paz puesto que las condiciones de estudio para esta propuesta son iguales a las de Acapulco y en esa ciudad se pudo constatar que su eficiencia era menor a la de las aulas provistas de área de ventilación adicional.

En todos los casos se logró igualar o incluso superar la meta de que los medidores marcaran arriba del 0.8 del promedio de iluminación del aula con la salvedad de un medidor para el caso de aula con muros amarillos. En general se puede considerar que la iluminación de estas aulas cumple con los requerimientos nacionales de cantidad de lux y además provee uniformidad de intensidad lumínica en toda la superficie.

Los niveles de iluminación que se consiguieron en el aula diseñada para la ciudad de La Paz fueron bastante buenos respecto a intensidad luminosa media y a la uniformidad de toda el aula. El aula pintada con muros interiores blancos se comportó de manera adecuada según la lectura de todos los medidores, el aula con muros pintados de amarillo presentó una sola lectura que no cubría con la norma de uniformidad de iluminación aunque evaluada de manera individual excede los requerimientos mínimos de cantidad de lux.

Se concluye que la elección de colores para este tipo de aulas puede abarcar una gama más amplia de colores ya que el uso de colores muy claros resulta sobrada para las necesidades de los alumnos.

CONCLUSIONES GENERALES

ILUMINACION

Coincidencias

- Las pruebas en el laboratorio de cielo artificial dieron por resultado que los niveles de iluminación general al interior de las aulas actuales cubren los requisitos del reglamento de construcción de México, sin embargo la distribución de la iluminación no es la ideal de acuerdo a algunas normas internacionales.
- Las dimensiones de la ventana adicional en la cumbrera que se han propuesto aumentan la uniformidad de los niveles de iluminación en las diferentes partes del aula para ambas ciudades.

Diferencias

- Los niveles de iluminación que fueron verificados en la propuesta final para La Paz resultan más favorables que para la ciudad de Acapulco debido a la mayor área de entrada de luz. Esta ventaja se percibe por la uniformidad de iluminación y no por la intensidad de la misma ya que una vez alcanzado el nivel de lux adecuado cualquier excedente resulta incapaz de aumentar los niveles de aprovechamiento escolar.

ENFRIAMIENTO

Coincidencias

- Se definió que el elemento constructivo más crítico desde un punto de vista térmico es la cubierta, ya que aporta la mayor parte de la ganancia de calor. La relación costo-beneficio determinó que el empleo de losas a base del sistema de paneles de poliestireno de 5 cms de espesor es la más adecuada dentro de los materiales fácilmente disponibles en el mercado. El empleo de ese tipo de losas reduce la ganancia térmica hasta niveles donde la ganancia interna es la que representa el mayor problema.

- El análisis comparativo que se realizó para las dos ciudades demuestra que es posible mejorar las condiciones de comodidad interior en los climas cálidos con una inversión mínima en aislantes que impacta favorablemente el confort interno y por lo tanto mejora la eficiencia de los estudiantes

Diferencias

- El análisis a base de modelos matemáticos arrojan datos en que la ciudad de La Paz tiene mayores problemas de ganancia por radiación en losas, sin embargo al emplear el aislante de poliestireno la proporción del impacto de la ganancia por losas sobre el análisis global resulta similar.

VENTILACION

Coincidencias

- Se constataron mejoras en ambas ciudades en los niveles térmicos al ser provistas de una superficie adicional de ventana en la zona de la cumbrera. El área de ventilación adicional es útil para satisfacer las necesidades extras de renovación de aire mediante los vientos y por efecto termoconvectivo en caso de vientos de poca velocidad.
- Se estableció que la ganancia interna puede ser disipada por medio de ventilación

Diferencias

- Según el análisis horario del viento y las horas de uso se puede concluir la orientación actual de aulas es adecuada para la ciudad de La Paz mientras que la ciudad de Acapulco requiere una rotación a 45° sobre su eje original.
- De acuerdo al estudio de modelos físicos y matemáticos se dictaminó que una eficiente ventilación natural es suficiente para obtener situaciones aceptables de confort durante todo el año en la ciudad de Acapulco mientras que La Paz tiene meses en que el empleo de humidificadores de aire es indispensable para poder ventilar.

APENDICE DEL CAPITULO 3 Desarrollo del balance térmico para aulas CAPFCE

Modelos matemáticos (balance térmico)											
Ubicación, datos para cálculo					Datos de ubicación geográfica de la ciudad, latitud y longitud expresadas en grados-minutos y en grados-fracción de decimal						
Ciudad:	*	Altitud:		*						m.s.n.m.	
Estado	*										
Latitud	*										
Longitud	*										
Temperatura	media mensual	*		°C	Datos de temperatura según el S.M.N., y temperaturas límite para estar en confort calculadas por la fórmula de S. Szokolay, la temperatura de diseño debe ser la más fácil de lograr y que se encuentre dentro de la zona de confort						
	horaria	*									
	neutra mensual	$17,6 + (0,31 \times T_m)$									
Límite de confort	superior	neutra mensual + 2,5									
	inferior	neutra mensual - 2,5									
Temperatura de diseño		*									
Velocidad del viento (en observatorio)			*	m/s		Datos del viento y ángulo con que incide a la ventana					
Dirección de viento y ángulo de incidencia a la ventana			N,S,E,O, etc		°						
Radiación máxima total en 12 hr			*	W/m2		Dato de radiación por día y cálculo de radiación horaria					
Radiación solar horaria:			(fórmula)								
Fecha de diseño	*	Día			Cálculo del número de día a lo largo del año (1°Enero= 1, 31 Diciembre = 365) y cálculo de ángulo solar cálculo de ángulo solar (6 A.M.=90°, 12 P.M.=0°)						
	*	Mes									
Día número	*	del año									
Hora (solar)	*	hrs.									
Angulo solar horario:	*	°									
Datos arquitectónicos del aula											
Ancho (Fachada N & S)	*	metros			Dimensiones del espacio habitable a estudiar						
Largo (Fachada E & O)	*										
Alto (pomedio)	*										
Area	Ancho x largo	m2									
Volúmen	Area x altura	m3									
Elementos	Área (m2)	Area en sombra(m2)	Area con sol (m2)	Total (m2)	Determinación de superficie de los elementos de la envolvente constructiva, así como el área del área que tienen soleada y sombreada (a las áreas de muros Sur y Norte se les resta la superficie de muros y puertas)						
Losas:				Losas							
Norte	Area / 2	0	Area - área en sombra	Area N + S							
Sur	Area / 2	0	Area - área en sombra								
Muros:				Muro							
Norte	Alto x ancho	Fórmula (ver cálculo y croquis en fig #)	Area - área en sombra	S total áreas							
Oeste	Largo x ancho		Area - área en sombra								
Sur	Alto x ancho		Area - área en sombra								
Este	Largo x ancho		Area - área en sombra								
Ventanas:				Vidrio						Mediante el ángulo de altura solar, el ángulo de incidencia y las dimensiones de los saledizos se calcula la proporción que quedará a la sombra	
Norte	*	fórmula	Area - área en sombra	Area N + S							
Sur	*	fórmula	Area - área en sombra								
Puerta:				Puerta							
Sur	*	Fórmula	Area - área en sombra	*							
Fuentes	cantidad	Calor (W)	Datos de la cantidad de calor producido por cada elemento al interior del aula								
Personas	27	70,6								1.906,20	
Lámparas	*	68,0								*	
T.V.	0,00	250,0								*	
Declinación		Fórmula (ver geometría solar en el apéndice)									
Seno altura solar		Fórmula (ver geometría solar en el apéndice)									
Atura solar		Fórmula (ver geometría solar en el apéndice)									
Seno del Acimut		Fórmula (ver geometría solar en el apéndice)									
Acimut (S-O)		Fórmula (ver geometría solar en el apéndice)									
Orto		Calculos hecho a partir de la fórmula: $\tan(\text{latitud}) = \frac{\tan(\text{altura})}{\tan(\text{declinación})}$									
(decimal)											
(grados)											
Ocaso		Calculos hecho a partir de la fórmula: $\tan(\text{latitud}) = \frac{\tan(\text{altura})}{\tan(\text{declinación})}$									
(decimal)											
(grados)											
Duración del día		Fórmula						hrs.			

Desarrollo del balance térmico (continuación)

Ángulos de incidencia				Cálculo sobre la forma en que los ángulos solares inciden sobre las diversas orientaciones de los elementos envolventes del aula
Para Superficie Vertical		Coseno	Angulo	
Fachada	Norte	Fórmulas a partir del ángulo solar y el acimut		
	Oeste			
	Sur			
	Este			
Para superficie horizontal		Coseno	Angulo	
Losa	Norte	Fórmula a base de la altura solar		
	Sur			

Ganancia solar (Qs) & Energía solar incidente				Cálculo de la cantidad de W/m2 que recibe cada elemento respecto al ángulo de incidencia y a la radiación solar horaria
Losa	Norte	*	W/m2	
	Sur	*		
Muro	Norte	*		
	Oeste	*		
	Sur	*		
	Este	*		
Ventana	Norte	*		
	Sur	*		
Puerta	Sur	*		

Ganancia solar por elementos (Qs)				<p>Cálculo de la ganacia solar total que recibe cada elemento mediante la multiplicación de los siguientes factores:</p> <p>A) superficie total (m2)</p> <p>B) energía solar incidente (W/m2)</p> <p>C) nivel de absortancia (a) del material</p> <p>D) resultado de la división: U entre k</p> <p>donde:</p> <p>U = Transmisión del material (W/m2 °C)</p> <p>k = conductividad del material (W/m°C)</p>
Losa	Norte	*	Watts	
	Sur	*		
Muro	Norte	*		
	Oeste	*		
	Sur	*		
	Este	*		
Ventana	Norte	*		
	Sur	*		
Puerta	Sur	*		
Qs TOTAL:		*		

Ganancias internas (Qi):			Se multiplica la carga térmica unitaria por número de elementos y se suma el total
Personas	*	Watts	
Focos	*		
T.V.	*		
Qi Total	*		

Ganancias o pérdidas por conducción (Qc)			Para cada elemento se multiplican: A) Transmisión (U) B) Area C) Diferencia entre temp. exterior e interior
Losa	*	Watts	
Muros	*		
Vidrio	*		
Puerta	*		
QcTot:	*		

Ganancias o pérdidas por infiltración (Qv):			<div>1 Se calcula el área total de rendijas por donde se infiltra el aire exterior</div> <div>2 Se calcula a partir de la velocidad del viento la diferencia de presión</div> <div>3 Cálculo de ventilación según área de infiltración y D de presión</div> <div>4 Qv según D de temp y ventilación</div>
Longitud de zona de infiltración	*	mts	
Supuesta área total de infiltración	*	m2	
Presión (Pa) Pw=	*	Pascales	
Diferencia de Presión (Dp)	*		
Tasa de ventilación Q =	*	m3/s	
Qv TOTAL:	*	Watts	

Qs+Qi+Qc+Qv =	* Watts	Resumen de balance térmico se determina ganancia ó pérdida de calor
Flujo de energía calorífica =	ganancia de calor	

Desarrollo del balance térmico (continuación)

Modelos matemáticos (balance térmico)

Estimación de la temperatura interior			Cálculo de transmisión Se multiplica la superficie de cada elemento por su Transmisión (U), (W/m2°C)
Indice de transferencia de calor específico			
qc (A*U)			
Losa	*	W/m2 °C	
Muros	*		
Vidrio	*		
Puerta	*		
qcTotal (W/°C)	*		
Qs+Qi+Qv:	*	Watts	S de ganancia solar, interna e infiltración División entre Qs+Qi+Qv / qc total
Q/qc	*		

Admitancia (A*Y)			Cálculo de admitancia Se multiplica la superficie de cada elemento por su admitancia efectiva Y (W/m2°C)
Losa	*	W/m2 °C	
Muros	*		
Vidrio	*		
Puerta	*		
Piso	*		
qy Total	*		
Qtot / qy Total	*	°C	S de admitancia
Temperatura interior	*	°C	División entre Qs+Qi+Qc+Qv / admitancia
			S de admitancia y (Qtot/qy)

Para mantener la temperatura interior inferior a:	*	°C	Definición sobre la conveniencia de ventilar indica negativa o bien temperatura máxima que se debe lograr mediante la ventilación
Casos:	4	Te = temperatura exterior	Definición de cual de los 5 casos es el vigente
1) Si Te > 35°C, no ventilar		Ti = Temperatura interior	
2) Si Ti ≤ Tsc, no ventilar		Tsc = max confort	
3) Si Te > Ti, no ventilar			
4) Si Te < Tsc, Te < Ti, entonces Tsc			
5) Si Te > Tsc, Te < Ti, entonces Te			

Ventilación		En esta parte se corrige el dato de velocidad de viento del S.M.N. ya que a la altura de las aulas su velocidad disminuye
Velocidad de viento a 2 metros de altura		
Velocidad referencia V r	*	
V2 =	*	

Tasa de ventilación necesaria			Cálculo de ventilación necesaria de acuerdo a la ganancia térmica, a la diferencia entre temperatura exterior con el límite de confort
Q =	*	m ³ /s	
Número de cambios por hora:			
N =	*	Cambios	# de cambios según volumen y tasa de ventilación

Area de la ventana			Determinación de cual ventana es de entrada cual de salida, según dirección del viento, cálculo de factor de relación (cálculo fig #)
Relación de ventanas (Rv) :	*		
Factor de relación de aberturas	*		
Area de ventana requerida =	*		
Area extra (m ²) =	*		
Area de entrada =	*		
Velocidad interna c/ventana extra(m/s)	*		

Desarrollo del balance térmico (continuación)

Modelos matemáticos (balance térmico) **Area de vanos en aulas CAPFCE**
 Estudio de factores de relación entre ventanas de salida y entrada de aire

Fachada principal (Sur): Area libre por pza.

elemento	ancho		alto		área		# de pzas.		Superficie total
Ventanas	0,91	x	0,69	=	0,6	x	2	=	1,26 m ²
Puerta	2,45	x	0,95	=	2,3				2,33 m ²
Area de ventilación total para la fachada principal:									3,58 m ²

Fachada posterior: Area libre por pza.

elemento	ancho		alto		área		# de pzas.		Superficie total
Ventanas	0,91	x	0,69	=	0,6	x	4	=	2,51 m ²
Total fachada posterior:									2,51 m ²
Area total de infiltración: (Fachada delantera y trasera juntas)									6,09 m ²

Factor de relación de ventanas:

Area de fachada principal		Area de fachada posterior
3,5833 m ²	:	2,51 m ²
1,4267	:	1

Según Freixanet el factor de relación es:

$$fr = (Rv / (1 + Rv^{0.5})) / \sin 45^\circ$$

donde:

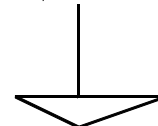
$$Rv = As / Ae$$

As = Area de salida

Ae = Area de entrada

Si el viento entra por esta ventana el factor de relación es:

0,35



Fachada posterior

Para vientos que entran por la ventana Sur
 Vientos del Sur (Sureste, Suroeste etc)

$$Rv = \frac{2,5116}{3,5833} \quad fr = 0,487$$

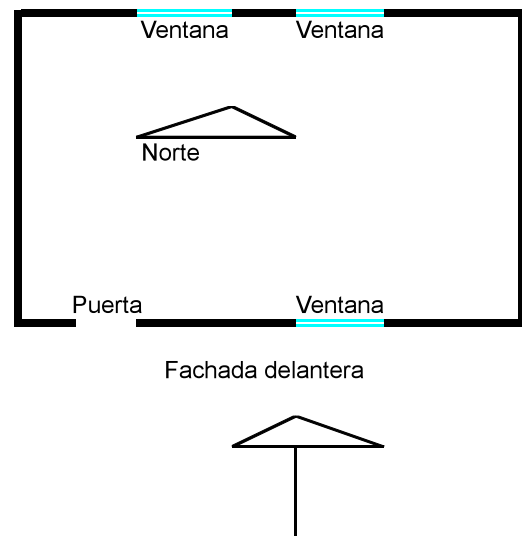
$$Rv = 0,7009$$

Para vientos que entran por la ventana Norte
 Vientos del Norte (Noreste, Noroeste, etc)

$$Rv = As/Ae \quad fr = 0,347$$

$$Rv = \frac{3,5833}{2,5116}$$

$$Rv = 1,4267$$



Fachada delantera

Si el viento entra por esta ventana el factor de relación es:

0,49

Desarrollo del balance térmico (continuación)

Características físicas de los materiales constructivos usados en las aulas del C.A.P.F.C.E.

Elemento constructivo	Materiales	Espesor	Conductividad	Resistencia	Transmisión	Absortancia	Transmitancia	Reflectancia	Emisividad interior	Factor de ganancia	Calor específico	Densidad	Difusividad térmica	Retardo térmico	Admitancia	Índice de inercia térmica	Admitancia efectiva	Capacitancia
		(m)	(W/m °C)	m ² °C/W	W/m ² °C	α	τ	ρ	ϵ_i	fg	C_p	ρ	m ² /s	h	(W/m ² °C)	D	Ψ	
MUROS	fe	1,00	10,93	0,0915														190.400,00
	aplanado	0,04	0,63	0,0635		0,60												
	tabique	0,14	0,84	0,1667	6,00						800	1700	0,0000006	4,10	9,11	1,52	9,33	
	yeso	0,00	0,46	0,0000														
	fi	1,00	8,13	0,1230														
	Total			0,4447	2,25											0,05	3,30	
LOSA	fe	1,00	15,03	0,0665														210.000,00
	entortado	0,04	0,63	0,0635		0,65												
	losa	0,100	1,130	0,0885							1000	2100	0,0000005	3,14	13,14	1,16	13,80	
	yeso	0,00	0,46	0,0000														
	fi	1,00	6,63	0,1508														
	Total			0,3694	2,71												5,10	
VENTANA	fe	1,000	10,93	0,0915														6.300,00
	vidrio	0,003	1,11	0,0027		0,11	0,81	0,08	0,03	0,84	840	2500	0,0000005	0,10	13,02	0,04	8,40	
	fi	1,000	8,13	0,1230														
	Total			0,2172	4,60												5,60	
PUERTA	fe	1,000	10,93	0,0915														4.836,00
	triplay	0,006	0,14	0,0429		0,60					620	1300	0,0000002	0,33	2,86	0,12	6,29	
	fi	1,000	8,13	0,1230														
	Total			0,2573	3,89												5,60	
PISO	Concreto	0,08	1,80	0,0444							620	1300	0,0000022	1,23	10,27	0,46	4,69	64.480,00
	Total																5,00	

b Espesor del material expresado en metros

k Conductividad, es la cantidad de calor que se transmitirá a través de un material con una superficie y un espesor determinado cuando hay una diferencial de temperatura de 1° entre ambos lados del material.

R Resistencia, es la recíproca de la conductividad o sea la tendencia de un material para reducir el flujo de calor.

U Índice de transmisión de calor

α Absortancia, es la radiación absorbida por una superficie en relación con la energía total incidente

τ Transmitancia, es el coeficiente de transmisión de calor expresado en calorías por hora por m² por grado.

ρ Reflectancia, es la proporción de la luz reflejada por una superficie en comparación a la luz que incide.

ϵ_i Emisividad, proporción de radiación térmica que emite un material, se expresa en fracciones decimales

fg Factor de ganancia

Cp Calor específico, cantidad de kcal ó Watts necesarios para elevar en 1 grado C la temperatura de 1 kg

ρ Densidad, masa de una sustancia expresada en kg / m³

ϕ Retardo térmico, tiempo transcurrido entre la absorción de la energía solar por un material y su liberación.

a Admitancia

D Índice de inercia térmica

Ψ Admitancia efectiva

APENDICE DEL CAPITULO 4

Relación de ciudades que se tomaron en cuenta para elegir los casos de estudio:

Información climática general de las ciudades principales de México:

(CLIMA CALIDO SECO)

Ciudad	Estado	T máx	Tmín	Pp total
Cabo San Lucas	BCS	28.9	19.2	240
La paz	BCS	29.7	17.9	205
Loreto	BCS	31.0	17.4	156
Puerto Cortez	BCS	26.8	18.4	32
San José del Cabo	BCS	28.2	19.0	268
Todos los santos	BCS	27.8	19.1	182
Arteaga	Coah.	26.3	18.4	319
Parras	Coah.	26.6	14.3	327
Torreón	Coah.	28.3	14.4	217
Gómez Palacios	Dgo.	28.3	15.3	180
Lerdo	Dgo.	27.3	13.4	239
Monterrey	NL	28.3	14.7	587
Sn Carlos Yautepac	Oax.	26.2	20.8	609
Acatlán de Osorio	Pue.	26.8	21.1	646
C. Pesquero Castillo	Sin.	29.2	18.6	472
Chávez Talamantes	Sin.	31.1	16.7	323
Culiacán	Sin.	29.5	19.6	630
Guamúchil	Sin.	30.0	18.5	541
Guasave	Sin.	30.6	18.1	403
La Reforma	Sin.	30.6	17.3	583
Los Mochis	Sin.	32.0	18.0	321
Topolobampo	Sin.	29.0	17.6	245
Guaymas	Son.	27.7	13.7	238
Navojua	Son.	32.5	18.0	386
Pogreso	Yuc.	27.2	22.7	469

(CLIMA CALIDO HUMEDO)

Ciudad	Estado	T máx	Tmín	Pp total
Campeche	Cam.	28.7	23.5	1016
Ciudad del Carmen	Cam.	29.3	23.6	1681
Dzibalchen	Cam.	28.9	22.6	1078
Agua Azul	Chis.	28.1	22.5	2840
Palenque	Chis.	29.7	22.4	2156
Pichucalco	Chis.	28.9	22.9	4037
Tapachula	Chis.	27.6	25.5	2489
Manzanillo	Col.	28.6	24.3	1071
Acapulco	Gro.	28.7	26.1	1412
Ciudad Altamirano	Gro.	31.9	25.1	1011

Iguala	Gro.	28.9	22.5	1086
Ixtapa-Zihuatanejo	Gro.	27.7	25.0	1102
Puerto Vallarta	Jal.	28.9	22.9	1404
Lázaro Cárdenas	Mich.	27.9	24.1	1308
Acaponeta	Nay.	30.2	22.6	1284
San Blas	Nay.	29.4	21.6	1397
Salina Cruz	Oax.	29.8	25.5	1041
Pinotepa nacional	Oax.	28.5	25.0	1700
Tuxtepec	Oax.	28.8	21.9	2452
Cancún	Qroo.	30.1	24.9	1041
Chetumal	Qroo.	27.8	23.0	1300
Cozumel	Qroo.	27.2	22.8	1570
Felipe Carrillo	Qroo.	27.8	22.5	1291
Ciudad Valles	SLP	29.7	19.8	1243
Comalcalco	Tab.	29.1	23.0	2261
Teapa	Tab.	28.9	22.0	3835
Tenosique	Tab.	28.8	22.6	2160
Villahermosa	Tab.	29.7	24.0	2337
Ciudad Mante	Tmps	28.3	18.4	1033
Tampico	Tmps	28.2	18.5	1080
Alvarado	Ver.	28.1	22.0	2063
Catemaco	Ver.	27.1	19.8	1935
Coatzacoalcos	Ver.	27.3	22.1	2726
Cosamaloapan	Ver.	29.0	21.7	1466
Martínez de la Torre	Ver.	27.7	18.6	1734
Papantla	Ver.	27.7	18.3	1170
Paso del macho	Ver.	26.9	20.4	1112
Potrero nuevo	Ver.	26.2	19.7	1896
Poza rica	Ver.	28.1	18.7	1156
San AndrésTuxtla	Ver.	28.0	20.7	1996
Santiago Tuxtla	Ver.	27.5	20.6	2664
Tecolutla	Ver.	26.9	17.9	1707
Tierra blanca	Ver.	29.5	22.2	1463
Tlacotalpan	Ver.	29.1	23.4	1517
Tuxpan	Ver.	27.8	19.3	1351
Veracruz	Ver.	28.2	21.5	1668
Izamal	Yuc.	28.6	23.1	1129
Motul	Yuc.	27.8	22.2	1070
Ticul	Yuc.	28.6	21.9	1099
Valladolid	Yuc.	27.5	22.4	1159

Fuente: «Criterios de adecuación bioclimática en la arquitectura», A. Figueroa & V. Fuentes

APENDICE DEL CAPITULO 5

Valores horarios de temperatura de bulbo seco de la ciudad de Acapulco proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional dentro del periodo de 1991-2000.

Acapulco, Guerrero												Temperaturas horarias (°C)																																			
Hora	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	Prom	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	Prom	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	Prom														
Enero												Febrero												Marzo																							
7	21.3	24.2	22.5	24.3	22.4	20.6	23.5	22.9	21.1	20.0	22.3	23.8	23.9	22.0	23.7	24.5	22.8	22.8	20.0	20.6	22.8	22.7	21.4	23.4	22.0	22.4	19.4	23.6	24.0	23.0	21.0	19.3	22.0														
8	22.7	25.3	24.0	25.1	23.0	21.0	23.7	23.8	21.2	21.4	23.1	24.0	25.3	23.0	24.8	25.0	23.6	23.6	21.4	21.2	22.8	23.5	22.2	24.0	23.0	24.0	20.0	24.8	24.6	24.5	21.8	21.0	23.1														
9	24.0	26.5	25.4	25.9	23.9	21.7	24.7	26.2	23.0	22.2	24.4	24.4	25.9	24.8	25.4	26.5	23.6	24.2	22.4	22.8	23.4	24.3	24.6	26.8	24.8	26.3	22.6	26.2	25.0	25.6	24.0	24.0	25.0														
10	27.5	27.0	27.4	27.5	26.1	24.5	28.2	27.0	26.2	25.2	26.7	27.9	28.3	28.0	27.4	28.5	25.8	26.6	26.8	25.8	26.8	27.2	28.7	30.4	28.0	28.7	26.4	29.2	28.2	27.4	27.4	27.0	28.1														
11	29.5	29.4	29.7	29.5	28.8	26.8	29.8	28.2	28.6	27.8	28.8	31.9	29.9	29.5	29.5	33.0	28.6	28.8	28.0	27.8	29.2	29.6	30.6	31.2	29.5	30.3	29.2	31.5	29.3	29.6	30.0	27.7	29.9														
12	30.2	31.0	31.4	31.5	31.0	28.7	30.0	30.0	29.4	28.6	30.2	32.4	31.7	30.2	30.2	33.4	30.5	31.0	29.0	29.0	29.4	30.7	30.7	31.4	30.2	30.6	29.8	32.0	28.8	29.6	30.4	28.0	30.2														
13	30.2	31.0	31.7	31.5	31.5	30.2	30.2	30.2	29.6	29.0	30.5	32.5	30.7	30.6	30.5	33.5	31.0	30.2	29.4	29.4	29.4	30.7	30.9	31.8	30.6	30.6	30.2	32.5	29.6	30.0	30.8	27.5	30.5														
14	30.2	31.5	31.8	31.7	31.7	30.4	30.4	30.2	30.0	28.8	30.7	31.7	31.0	31.0	30.8	33.2	31.6	30.4	30.0	30.0	29.0	30.9	31.6	31.4	31.0	30.8	30.2	32.2	30.8	30.4	30.4	27.8	30.7														
15	30.0	31.3	31.5	31.7	31.7	28.8	30.3	29.6	29.6	28.6	30.3	31.5	30.8	31.0	30.7	33.0	31.5	30.4	29.6	29.2	28.8	30.7	31.4	31.4	31.0	31.0	29.6	32.0	30.6	30.0	30.8	27.5	30.5														
16	29.5	30.0	30.7	31.0	31.0	27.7	29.4	30.0	29.2	28.8	29.7	31.6	30.0	30.5	30.5	33.4	30.8	30.6	29.4	28.4	28.4	30.4	31.0	30.4	30.5	30.5	29.0	31.5	30.6	29.6	29.6	26.3	29.9														
17	29.0	29.0	30.0	29.8	30.0	26.6	29.2	28.8	28.0	28.2	28.9	30.8	29.5	30.0	29.5	31.5	30.0	29.6	28.4	28.2	28.0	29.6	30.1	30.0	30.0	29.5	28.4	30.5	29.6	29.0	28.8	25.6	29.2														
18	28.7	29.0	29.2	28.9	28.6	25.5	28.0	27.6	26.7	27.8	28.0	30.2	28.9	29.0	28.5	31.0	29.0	29.0	28.0	27.0	28.0	28.9	30.1	29.2	29.0	28.9	27.8	29.5	29.6	28.8	28.0	24.7	28.6														
Abril												Mayo												Junio																							
7	26.0	25.7	21.4	23.9	22.5	20.8	25.8	23.4	24.9	21.0	23.5	24.8	26.7	24.2	26.7	28.0	27.0	27.8	24.0	29.0	26.4	26.5	24.0	27.0	25.6	26.0	26.1	26.5	26.8	26.6	27.7	24.0	26.0														
8	27.0	27.3	24.0	24.8	24.5	24.8	27.0	24.4	26.2	24.0	25.4	25.6	27.5	26.8	27.9	29.6	28.6	29.6	25.2	29.0	26.8	27.7	27.7	24.0	28.2	26.7	28.0	26.4	27.3	28.2	26.8	29.0	23.9	26.9													
9	28.0	29.9	26.7	27.6	28.5	26.0	27.8	26.0	27.4	25.8	27.4	26.0	31.3	29.4	28.4	31.0	30.0	30.0	26.6	29.2	28.6	29.1	29.1	24.2	30.0	27.0	29.8	26.5	28.0	29.8	25.8	29.9	24.0	27.5													
10	28.6	30.6	29.0	30.7	27.5	27.5	30.4	29.2	30.4	29.2	29.3	28.4	32.3	31.5	31.9	33.0	32.0	32.2	28.0	31.2	30.0	31.1	31.1	24.2	31.4	27.5	32.0	28.0	29.7	31.2	29.6	30.6	23.2	28.7													
11	29.4	31.5	31.2	32.4	29.0	32.0	30.6	30.2	31.3	30.6	30.8	29.4	32.9	32.6	32.3	34.7	33.0	32.6	30.8	31.5	30.4	32.0	32.0	24.0	33.0	30.5	33.3	30.5	30.0	33.4	32.8	31.2	25.2	30.4													
12	30.6	31.5	31.0	32.0	29.6	32.8	30.6	30.4	31.4	30.4	31.0	29.6	33.9	32.9	31.9	34.7	32.6	32.2	31.6	32.3	30.6	32.2	32.2	24.0	33.8	32.0	34.6	31.5	30.4	34.2	31.4	32.0	26.2	31.0													
13	31.0	31.5	31.5	33.0	29.5	33.8	30.2	30.6	31.4	30.0	31.3	29.8	33.8	32.5	32.2	34.5	33.6	32.4	31.0	32.4	30.2	32.2	32.2	24.0	34.0	32.5	35.0	32.4	29.9	34.0	31.4	32.0	27.2	31.2													
14	31.4	31.5	31.1	32.5	29.5	33.8	31.0	31.4	32.0	30.8	31.5	30.2	33.4	33.0	32.5	34.3	33.5	32.8	31.0	32.8	30.4	32.4	32.4	25.0	34.3	32.0	34.9	32.7	31.0	34.4	31.8	31.7	27.2	31.5													
15	31.4	31.2	29.5	32.2	29.5	33.2	31.2	29.8	31.0	30.4	30.9	30.6	33.2	32.8	32.6	34.3	33.5	32.8	31.0	32.8	30.4	32.4	32.4	25.0	34.0	32.0	34.5	32.8	28.4	34.6	32.4	29.8	26.5	31.0													
16	31.0	30.8	31.3	32.2	29.4	32.5	31.0	30.2	30.6	30.4	30.9	30.2	31.5	32.4	32.4	33.5	33.0	33.0	30.0	32.2	29.4	31.8	31.8	24.8	33.6	32.0	34.5	32.8	28.0	33.8	32.4	29.0	24.2	30.5													
17	30.4	30.1	30.4	31.5	28.6	31.4	30.2	29.4	30.0	29.4	30.1	29.2	31.5	31.5	31.8	32.7	32.5	32.0	30.0	31.8	29.2	31.2	31.2	24.7	32.8	31.5	33.5	32.2	28.0	33.2	32.2	29.2	23.8	30.1													
18	30.4	29.1	29.9	30.5	28.5	28.5	29.6	28.8	30.0	28.8	29.4	29.0	30.5	30.9	30.7	31.0	32.0	31.8	29.6	31.2	28.0	30.5	30.5	24.6	31.2	30.5	33.0	31.8	28.3	32.6	31.6	25.8	24.0	29.3													
Julio												Agosto												Septiembre																							
7	27.0	26.8	25.4	25.7	26.6	27.2	27.0	27.6	26.4	25.2	26.5	25.2	26.9	27.0	26.7	24.4	27.3	25.0	26.8	24.8	25.8	26.0	26.0	24.6	25.2	24.0	27.4	26.0	27.4	23.4	24.8	25.6	23.6	25.2													
8	29.0	27.4	26.3	26.5	27.7	28.0	29.2	27.8	27.0	26.8	27.6	27.8	27.8	27.8	27.0	24.6	28.4	26.0	28.0	25.2	26.0	26.9	26.9	25.6	25.6	25.0	28.0	26.0	28.2	25.0	26.0	26.8	24.9	26.1													
9	30.0	28.9	26.5	27.2	29.3	28.6	31.0	29.0	27.6	28.0	28.6	28.8	30.5	29.0	27.4	24.7	29.8	28.4	29.2	26.0	27.8	28.2	28.2	26.8	27.8	25.5	29.8	26.0	29.0	27.0	26.8	27.0	26.2	27.2													
10	30.6	31.5	28.0	28.9	31.0	30.4	32.0	30.2	28.4	28.4	29.9	31.0	31.5	27.6	30.6	24.2	31.5	30.8	30.3	27.4	29.4	29.4	29.4	29.0	30.6	27.0	31.2	28.0	30.7	27.6	28.2	28.2	28.5	28.9													
11	32.0	33.0	30.5	30.7	32.5	32.3	33.4	32.2	30.2	31.2	31.8	33.0	33.0	25.2	32.4	24.0	32.5	33.0	32.2	29.4	30.6	30.5	30.5	33.0	31.8	28.2	32.3	29.3	32.2	28.0	28.5	28.6	29.6	30.2													
12	33.0	33.5	31.4	32.6	33.8	32.2	33.0	32.2	30.2	30.8	32.3	32.2	33.0	25.0	34.0	24.2	33.5	32.8	32.4	30.4	30.8	30.8	30.8	33.6	33.0	29.0	33.2	30.5	33.5	29.8	29.2	29.0	30.2	31.1													
13	34.0	33.3	32.2	34.0	33.5	33.5	32.8	32.2	30.0	31.0	32.7	32.8	33.0	25.6	34.4	24.7	33.0	33.5	33.6	30.8	32.8	31.4	31.4	33.5	32.6	29.0	34.0	31.9	34.0	30.4	29.7	30.6	32.2	31.8													
14	34.6	33.3	31.3	34.5	34.0	33.7	33.0	32.6	30.9	29.0	32.7	33.0	33.2	26.2	35.0	24.8	32.5	33.4	33.8	31.4	33.0	31.6	31.6	33.5	32.6	27.5	33.8	32.4	34.1	31.4	30.4	29.6	31.6	31.7													
15	34.6	33.0	32.5	31.6	34.4	33.7	33.2	32.2	30.8	29.2	32.5	32.7	33.2	27.0	35.1	25.0	32.9	32.6	33.8	31.0	33.0	31.6	31.6	33.7	31.6	27.7	33.8	34.0	34.2	30.8	30.6	28.8	31.0	31.6													
16	34.0	33.0	30.9	31.5	34.4	33.7	33.0	31.8	31.6	28.6	32.3	32.0	32.5	26.8	34.5	25.4	33.3	32.6	32.6	31.4	32.0	31.3	31.3	34.3	31.6	28.0	33.7	33.0	33.9	30.2	28.6	29.0	30.6	31.3													
17	32.0	32.9	29.5	30.5	33.8	33.4	32.6	31.8	30.8	29.0	31.6	32.0	31.6	26.2	34.3	25.8	33.0	32.6	32.6	31.2	32.0	31.0	31.0	33.5	31.4	27.5	33.0	32.0	33.0	29.6	29.4	28.9	29.6	30.8													
18	31.5	31.7	29.5	30.0	33.0	32.8	32.0	31.2	30.5	28.8	31.1	31.4	31.0	26.0	33.0	26.3	32.3	32.2	32.6	30.8	30.5	30.6	30.6	32.8	30.6	27.0	31.6	30.5	32.5	28.4	27.8	27.8	28.8	29.8													
Octubre												Noviembre												Diciembre																							
7	25.4	24.8	26.9	26.6	25.4	26.8	25.8	26.4	25.0	25.6	25.9	24.8	23.4	25.0	24.0	25.6	25.9	23.8	25.5	24.7	24.7	23.8	22.9	2																							

Valores de humedad relativa horaria de la ciudad de Acapulco proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional en el periodo de 1991-2000

Acapulco, Guerrero												Humedad relativa horarias (%)																																			
Hora	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	Prom	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	Prom	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	Prom														
Enero												Febrero												Marzo																							
7	89	83	95	90	78	87	93	94	85	93	89	81	92	88	90	77	90	89	80	88	84	86	86	90	92	85	87	87	84	90	82	93	88														
8	87	77	85	88	76	86	93	98	85	74	85	81	82	85	89	76	89	87	77	85	81	83	82	84	88	76	82	81	80	85	77	92	83														
9	79	71	76	85	70	83	88	81	84	67	78	81	78	78	87	74	86	83	73	75	74	79	72	72	86	67	79	76	73	77	65	80	75														
10	77	71	68	72	59	65	76	76	76	57	71	72	70	75	73	63	78	72	54	66	62	69	54	70	72	64	76	65	82	74	45	65	67														
11	66	67	58	76	53	60	68	73	74	57	65	68	65	72	66	52	72	67	48	59	60	63	54	63	63	58	72	64	60	70	46	68	62														
12	60	53	57	64	56	56	68	68	66	61	61	63	50	67	71	51	67	63	54	55	68	61	61	62	60	60	67	62	66	69	52	71	63														
13	69	56	58	62	59	59	69	69	78	65	64	64	68	62	69	55	65	73	57	58	69	64	67	58	58	66	65	63	71	67	58	70	64														
14	64	51	57	67	61	56	70	69	67	66	63	66	62	62	64	60	59	68	57	62	71	63	63	64	62	66	59	63	68	63	60	68	64														
15	64	57	63	67	61	53	70	74	69	68	65	64	60	67	60	63	60	72	59	61	74	64	64	64	62	61	62	61	65	66	66	76	65														
16	73	62	60	70	64	56	72	74	71	69	67	64	67	67	67	61	62	62	61	63	75	65	63	70	64	64	66	68	69	66	69	80	68														
17	66	65	69	70	67	55	73	75	77	66	68	65	63	67	66	68	67	80	65	61	77	68	72	72	67	66	69	66	65	66	67	80	69														
18	74	63	71	76	74	58	75	83	81	65	72	66	67	70	72	67	68	72	67	64	79	69	73	75	69	70	73	71	68	69	69	87	72														
Abril												Mayo												Junio																							
7	93	82	88	85	91	72	86	94	87	82	86	89	83	87	87	79	89	81	89	82	93	86	95	87	91	86	96	89	85	91	89	86	90														
8	89	78	73	83	84	65	82	83	84	70	79	89	76	77	79	76	80	76	84	79	92	81	95	84	87	75	97	87	72	93	83	90	86														
9	85	68	61	68	78	58	80	78	78	57	71	89	67	70	78	73	72	74	78	75	93	77	95	75	85	67	86	85	69	95	77	89	82														
10	81	65	51	60	69	50	70	63	65	53	63	75	59	65	62	62	69	61	68	72	77	67	94	70	82	58	92	78	58	84	77	97	79														
11	76	64	60	55	63	37	68	60	60	54	60	70	60	62	64	59	66	62	55	69	72	64	96	64	70	50	79	76	47	66	72	86	71														
12	76	64	57	61	60	39	69	70	68	52	62	68	58	57	68	59	63	67	61	68	70	64	96	62	65	50	77	74	46	87	70	83	71														
13	73	64	59	67	63	39	71	73	66	64	63	67	64	64	66	66	69	72	69	67	69	66	98	61	60	50	78	81	47	75	73	77	70														
14	68	64	50	61	63	39	66	65	64	57	60	65	64	65	66	66	62	71	79	62	71	67	95	62	65	56	73	76	45	74	70	82	70														
15	71	69	63	59	60	41	64	74	69	59	63	64	64	63	67	66	62	68	76	62	70	66	98	61	68	57	75	82	48	70	79	94	73														
16	73	68	62	59	61	44	64	76	69	52	63	67	77	61	67	66	62	66	76	61	70	67	95	62	67	56	70	89	53	69	82	93	74														
17	73	77	70	60	65	52	68	76	73	68	68	76	77	64	69	64	64	70	77	64	73	70	96	64	70	59	70	85	56	70	80	96	75														
18	73	78	70	66	66	66	71	79	73	74	72	72	76	67	73	68	65	70	82	66	73	71	98	66	76	59	69	86	59	72	93	95	77														
Julio												Agosto												Septiembre																							
7	85	86	88	91	80	85	89	84	89	86	86	83	89	77	84	93	85	80	88	94	92	88	80	90	90	86	85	93	89	89	95	91	92	91													
8	79	84	88	89	79	83	83	86	88	81	84	86	83	75	82	95	78	79	84	92	88	84	87	87	92	81	93	87	86	91	85	87	88														
9	78	83	87	87	77	80	76	83	81	79	81	79	76	71	80	95	70	78	79	90	81	80	82	83	86	73	93	86	74	89	84	81	83														
10	77	70	87	81	73	73	73	78	76	76	76	74	71	80	70	95	77	63	72	85	81	77	72	75	85	71	88	79	76	80	82	73	78														
11	62	68	67	69	65	66	66	68	74	69	67	62	66	90	62	95	71	54	66	76	71	71	59	71	77	67	84	70	79	77	81	69	73														
12	57	66	66	67	62	64	68	75	76	73	66	61	62	89	58	95	69	58	72	65	60	69	60	65	72	67	79	68	70	82	79	66	71														
13	58	64	62	61	68	67	68	73	77	67	67	69	66	86	55	93	68	52	60	66	61	68	62	68	72	64	68	66	65	77	69	58	67														
14	59	67	69	56	66	66	67	67	72	76	67	68	65	83	53	93	71	55	58	65	59	67	61	64	82	63	66	66	60	73	73	67	68														
15	61	68	65	70	64	66	66	67	78	77	68	70	64	81	55	95	69	59	58	69	57	68	60	71	80	65	66	65	64	76	81	66	69														
16	62	72	71	71	59	62	68	69	72	77	68	72	65	84	53	92	70	62	63	69	64	69	58	71	79	62	66	67	68	77	80	66	69														
17	62	72	70	73	59	65	68	68	76	72	69	74	70	86	54	88	71	59	66	70	68	71	60	69	82	62	74	68	71	78	81	70	72														
18	62	76	66	76	65	59	70	75	74	72	70	77	76	85	55	86	72	61	65	68	69	71	61	71	85	70	76	64	78	86	86	77	75														
Octubre												Noviembre												Diciembre																							
7	90	85	84	84	92	93	n.d.	94	95	89	90	86	93	84	89	82	92	91	90	93	92	89	87	89	86	89	91	53	89	90	91	87	85														
8	89	79	83	83	90	92	n.d.	85	93	88	87	85	90	82	81	81	92	91	89	89	86	87	84	89	83	84	85	74	89	90	84	83	85														
9	77	72	82	78	82	86	n.d.	85	85	83	81	83	86	79	80	80	89	86	86	82	76	83	79	87	81	84	75	70	89	89	83	77	81														
10	73	67	74	68	76	79	n.d.	75	79	72	74	78	72	73	69	70	81	82	85	80	75	77	72	80	76	77	70	68	85	87	73	64	75														
11	68	62	65	62	67	81	n.d.	70	73	66	68	58	61	67	65	73	70	78	78	74	64	69	64	71	67	73	72	58	81	75	63	59	68														
12	66	54	60	62	63	80	n.d.	69	75	61	66	58	59	64	65	52	61	76	76	73	56	64	64	66	65	70	64	58	73	70	61	50	64														
13	68	55	58	63	64	76	n.d.	71	74	62	66	66	60	66	66	54	62	68	76	73	51	64	73	62	64	71	60	53	67	68	64	48	63														
14	69	61	64	65	64	71	n.d.	76	71	68	68	62	57	66	68	61	62	76	74	73	66	67	73	62	61	68	61	52	67	69	66	52	63														
15	68	61	68	65	64	71	n.d.	73	79	69	69	65	57	67	65	68	60	78	76	75	68	68	78	66	60	74	61	52	79	76	64	52	66														
16	73	71	68	67	66	74	n.d.	76	77	68	71	70	65	70	74	66	63	79	81	75	71	71	75	70	60	76	63	61	79	72	59	57	67														
17	73	74	74	64	70	81	n.d.	76	80	71	74	75	68	73	73	68	66	82	77	77	73	73	78	74	63	81	66	59	76	73	68	58	70														
18	76	76	76	72	73	84	n.d.	84	86	72	78	73	71	76	76	62	68	88	81	80	76	75	80	79	69	80	72	61	76	76	68	64	73														

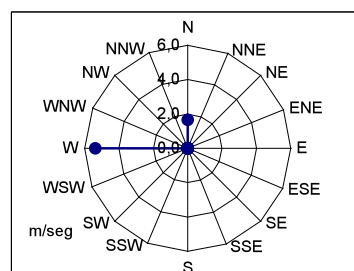
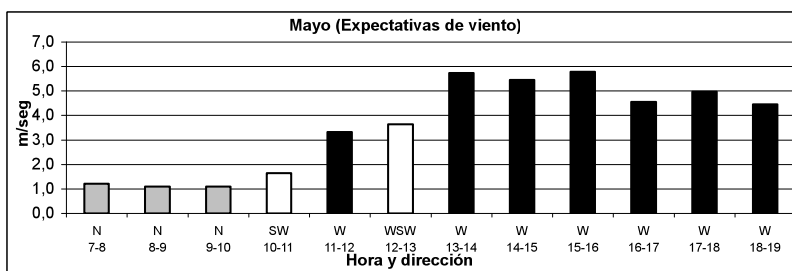
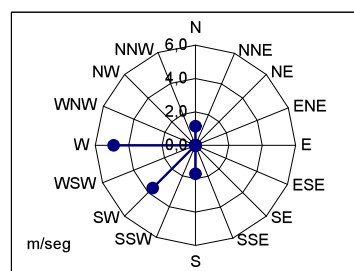
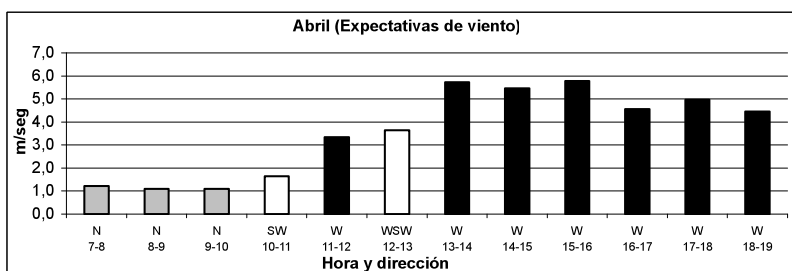
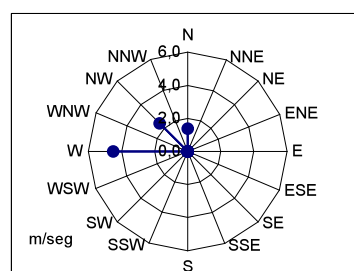
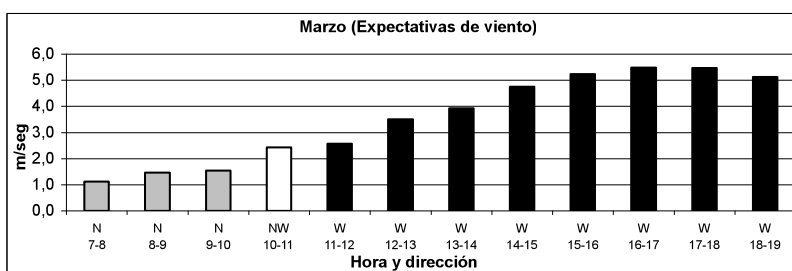
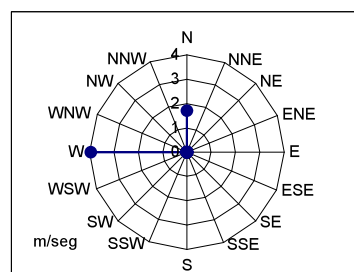
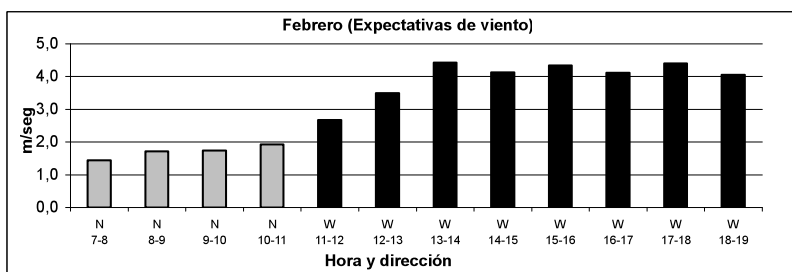
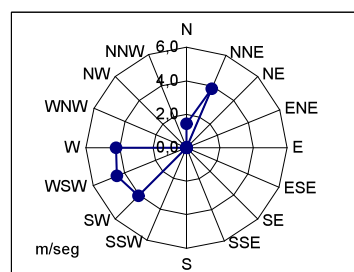
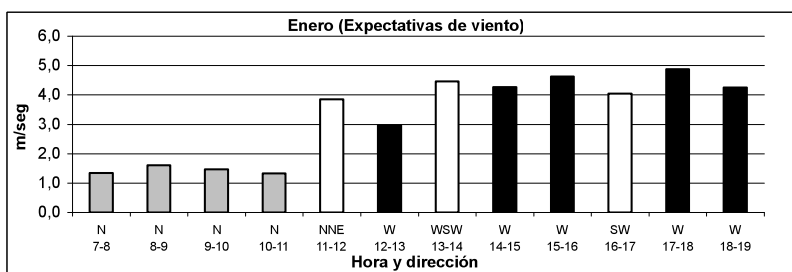
Dirección e intensidad horaria de vientos en la ciudad de Acapulco según el Servicio Meteorológico Nacional en el periodo de 1991-2000 (Meses lectivos del primer semestre)

Acapulco, Guerrero																		
Vientos en el periodo de 1991-2000																		
Año	1991		1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998		1999	
Hora	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci
ENERO																		
7-8	N	1.1	N	1.1	C	0	NNW	1.1	N	2.2	N	1.7	N	1.7	N	0.6	N	0.6
8-9	N	2.2	N	2.2	NNE	0.2	N	1.1	N	1.7	N	1.7	N	1.1	N	1.1	N	1.7
9-10	NNE	2.2	N	0.6	C	0	N	1.7	N	2.2	N	1.7	N	1.1	N	2.8	NE	1.7
10-11	NNE	1.1	E	1.1	C	1.1	N	1.7	N	0.6	N	1.7	SE	1.7	NNE	n.d.	SE	1.1
11-12	NNE	6	C	0	E	1.9	N	1.7	SW	2.2	N	1.8	SW	2.2	NNE	1.7	W	1.1
12-13	WSW	2.2	WSW	1.1	SSW	3.9	W	4.5	WSW	3.3	NW	3	SW	2.2	W	3.3	W	1.1
13-14	WSW	2.8	WSW	3.3	SW	4.4	WSW	5.6	WSW	4.5	NW	3.6	S	4.5	W	3.3	W	1.1
14-15	WSW	2.8	WSW	3.9	SW	4.8	W	5	W	4.5	NW	4.2	S	3.9	SW	3.3	W	3.3
15-16	WSW	3.3	W	5	SW	5.5	WSW	5.6	W	5	NW	4.6	S	4.5	WNW	3.33	W	3.9
16-17	WSW	3.3	W	5	WSW	5.4	SW	5.6	W	5	NW	4.8	SW	4.5	W	4.5	SW	3.3
17-18	WSW	2.8	W	5.6	WSW	5.6	WSW	5	W	5	NW	5	SW	3.3	W	5	W	3.9
18-19	WSW	2.2	W	5	WSW	5.6	W	4.6	WNW	4.5	NW	4.6	W	3.3	W	4.5	W	3.9
FEBRERO																		
7-8	N	1.5	N	1.1	N	1.1	NNW	1.1	N	1.1	NNW	2.2	N	1.7	N	2.8	N	1.1
8-9	N	2.2	N	0.6	N	1.1	NNW	1.1	N	1.1	N	2.8	N	1.7	N	3.8	N	1.1
9-10	N	2.2	C	0	N	2.2	NNW	1.1	N	1.1	N	2.8	N	1.7	NNW	3.6	N	1.1
10-11	E	2.2	N	1.1	N	3.3	NE	1.7	N	1.7	N	2.8	N	1.1	N	2.4	N	1.1
11-12	E	2.2	NNW	0.6	N	3.3	W	4.5	W	3	NW	3.3	S	1.1	W	3.2	SSW	1.6
12-13	S	3.3	N	0.6	SW	4.5	WSW	5.6	W	4.5	NW	3.9	S	3.3	W	3.9	SW	1.7
13-14	S	3.9	WSW	4.5	SW	5.6	WSW	5.6	W	5.6	NW	3.9	SW	3.9	W	4.2	WSW	2.7
14-15	SSW	6.1	WSW	5	SW	5.6	WSW	6.7	W	5	NW	4.5	SW	3.9	W	4.5	W	3.2
15-16	SSW	5.6	WSW	4.5	SW	5.6	WSW	6.7	W	5	NW	6.1	W	4.5	W	5	W	3.3
16-17	SSW	5.6	WSW	4.5	SW	5.6	WSW	6.7	W	3.9	NW	6.1	W	4.5	W	4.9	W	3.5
17-18	WSW	4.5	SW	3.9	SW	4.5	W	5.6	WNW	5	NW	5	W	4.5	W	5.3	W	3.1
18-19	W	4.5	W	5	SW	3.3	WSW	4.5	WNW	5	NW	6.1	W	4.5	W	4.6	W	2.8
MARZO																		
7-8	NNW	1.9	C	0	W	2.2	NNW	0.6	NNW	2.2	N	1.1	N	1.7	NW	1.1	N	0.6
8-9	N	2.5	N	1.4	NNW	1.1	NNW	0.7	NNW	2.8	NNE	1.1	N	1.7	C	0	N	0.6
9-10	N	2.4	N	2	NNW	1.1	NNW	1.1	NNW	2.8	N	1.1	NNW	2.2	C	0	N	1.1
10-11	NNW	2.2	NNW	2.1	NNW	2.2	NNE	1.9	NNW	4.5	NNE	1.1	NW	1.7	NE	0.9	N	0.6
11-12	WSW	4.2	N	1.9	W	3.3	WSW	3.1	NW	5.6	W	3.3	W	1.7	W	2	N	0.6
12-13	SW	5.2	W	3.9	W	4.5	WSW	4.6	NW	6.1	W	3.9	W	1.7	SW	2.7	N	1
13-14	WSW	6.1	W	4.7	W	4.5	W	5.1	NW	8.4	NNW	5	W	1.7	W	3.6	E	1.1
14-15	WSW	6.5	W	5.7	WSW	4.5	W	5.1	W	8.4	W	5	W	3.3	W	4.2	W	1.6
15-16	WSW	6.4	W	7.2	WSW	4.5	W	6	W	7.9	W	5	W	3.3	W	4.8	W	2.5
16-17	W	6.8	W	6.8	WSW	4.5	W	5.9	W	6.9	NNW	5	W	3.3	W	5.9	W	2.8
17-18	W	6.8	W	6.6	WSW	4.5	W	5.7	W	6.9	W	5	W	3.3	WNW	6.4	W	3.3
18-19	W	6.9	W	5.9	WSW	4.5	W	5.3	W	6.2	NNW	5	W	3.3	WNW	6.1	W	4.4
ABRIL																		
7-8	W	1.7	NNW	1.1	NW	2.2	N	1.1	N	1.7	NNW	1.7	NE	1.1	N	1.1	N	1.1
8-9	NW	1.1	NNW	0.6	NNW	1.7	N	1.1	NNE	1.7	NNW	0.6	NE	1.1	N	1.1	N	1.1
9-10	N	1.1	C	0	ENE	1.5	N	1.1	NW	1.7	C	0	E	1.1	WNW	2.2	N	1.1
10-11	N	4.5	NNE	0.6	ENE	1.9	NNE	1.7	NW	1.7	C	0	SW	1.1	WNW	2.2	SW	2.2
11-12	W	5.6	WSW	2.8	S	3.1	SW	4.5	NW	2.8	W	1.1	SW	4.5	WNW	2.2	W	3.3
12-13	W	6.7	WSW	4.5	WSW	3.9	SSW	5.6	NW	5	SW	1.7	SW	5.6	WNW	3.3	W	3.9
13-14	W	7.2	WSW	5	WSW	4.6	SW	5.6	NW	6.7	SW	2.2	SW	5.6	W	3.9	W	6.1
14-15	W	7.8	WSW	5	WSW	4.7	SSW	5.6	NW	6.1	W	3.3	W	5.6	W	3.9	W	6.7
15-16	W	7.8	WSW	5	WSW	5	SW	5.6	NW	6.1	W	3.3	W	6.7	W	3.9	W	7.2
16-17	W	6.7	N	5	SW	4.6	SW	5	NW	6.1	W	3.9	WNW	5.6	W	5	W	6.1
17-18	W	6.7	W	3.3	SW	4.7	W	5.6	NW	5	WSW	3.9	WNW	5.6	W	5	W	5
18-19	W	6.7	W	2.8	WSW	4.1	W	4.5	NW	5	WSW	3.3	W	5	W	5	W	3.9
MAYO																		
7-8	NW	1.4	NNW	1.7	NNE	1.1	NNW	1.1	N	1.1	N	1.7	N	1.1	N	1.1	C	0
8-9	NNW	1.5	NNW	2.2	NNE	1.1	NNW	1.7	N	1.7	N	1.5	N	2.2	N	2.2	E	1.1
9-10	W	2.2	NNW	3.33	NE	1.1	NNW	2.8	NNE	2.2	N	1.1	N	2.2	N	2.2	NE	1.1
10-11	W	4.2	W	4.5	SSW	1.9	W	2.8	NNE	3.3	NE	1.1	N	2.2	N	2.2	W	2.8
11-12	W	5	W	6.1	SSW	2.7	SW	5.6	NE	4.5	ESE	1.7	SW	3.3	SE	1.1	S	2.8
12-13	W	6.4	W	6.1	SSW	4.2	W	5.6	ENE	4.5	W	4.3	SW	3.3	SSW	1.7	W	4.5
13-14	W	7	W	7.8	SW	5.3	WSW	4.7	ESE	5	W	4.3	WSW	4.5	SW	2.2	W	5.6
14-15	W	6.4	W	8.8	SW	5.4	WSW	4.5	SE	5	SSW	4.7	SW	3.9	SW	2.2	W	5.6
15-16	W	7.1	W	10.1	WSW	6.1	WSW	4.5	SSW	5	W	5	WSW	3.9	W	2.2	W	6.1
16-17	W	7	W	10.6	WSW	5.9	W	4.5	SSW	5	WSW	4.6	W	4.5	W	2.2	W	6.1
17-18	W	5.8	W	7.2	WSW	6.2	WSW	3.9	SSW	5	WSW	4.7	W	3.9	SW	2.2	W	5
18-19	W	5.8	W	8.9	W	5.8	W	3.9	SSW	5	WSW	4.6	W	3.9	SW	2.2	W	3.9

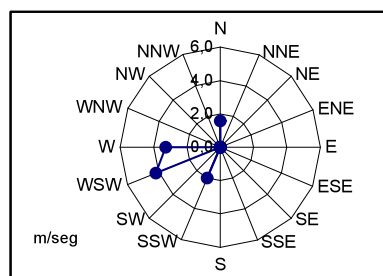
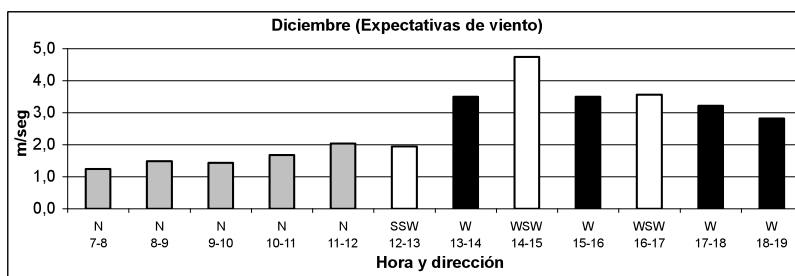
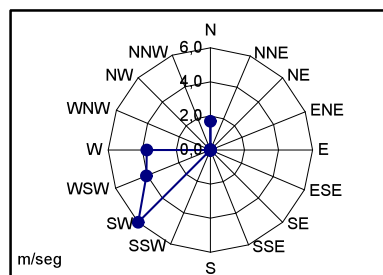
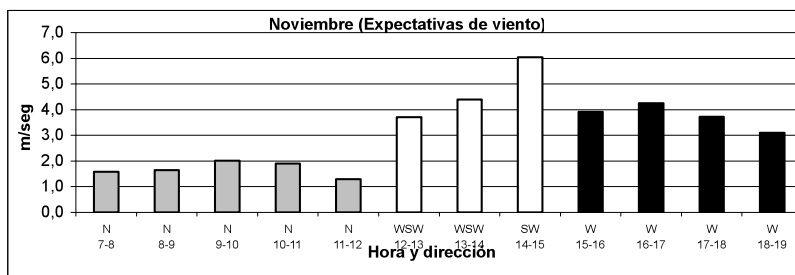
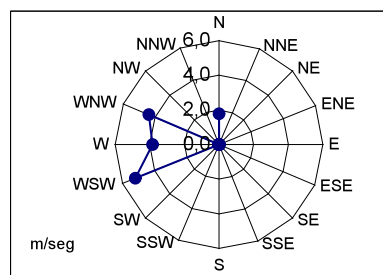
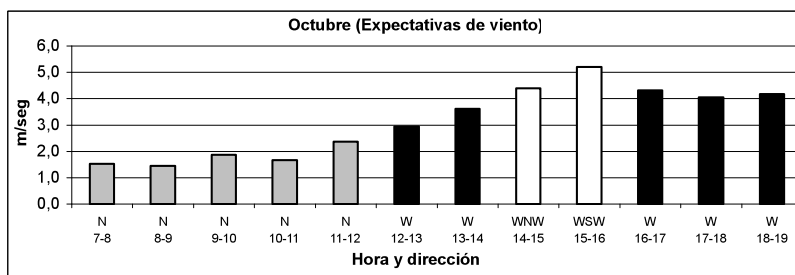
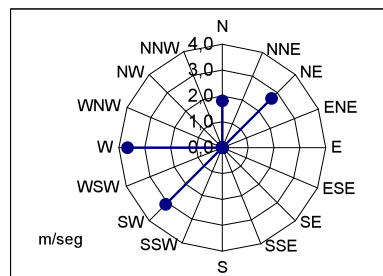
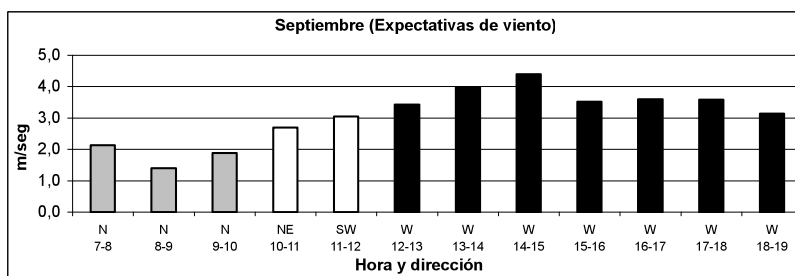
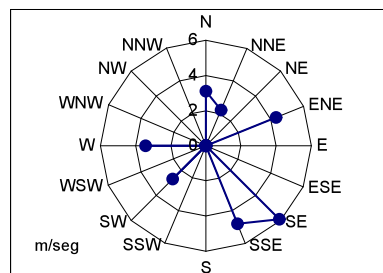
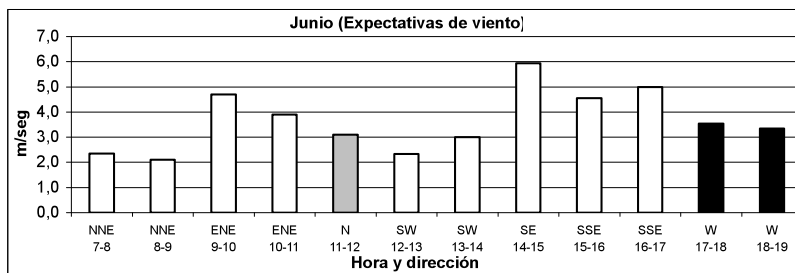
Dirección e intensidad horaria de los vientos de la ciudad de Acapulco según el Servicio Meteorológico Nacional en el periodo de 1991-2000 (Meses lectivos del segundo semestre)

Acapulco, Guerrero										Vientos en el periodo de 1991-2000										
Año	1991		1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998		1999		2000	
Hora	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci
JUNIO																				
7-8	NNE	6.1	NNE	1.1	E	1.7	NNW	2.6	NNE	1.1	NNE	1.1	N	0.7	NW	1.1	N	0.6	ENE	2.1
8-9	NNE	6.1	NNE	1.1	E	2.2	N	2.6	NNE	1.1	NNE	1.1	C	0	NW	1.1	N	0.6	NNE	1.11
9-10	ENE	7.2	NNE	0.6	E	3.9	N	2.5	NNE	1.1	E	1.11	C	0	NW	1.1	N	1.1	ENE	2.2
10-11	ENE	5.6	NNE	1.7	E	5	NNE	2.5	SSW	1.1	SE	3.9	E	0.9	NW	1.1	N	0.6	ENE	2.2
11-12	ENE	4.5	NNE	1.1	N	5.6	NNE	2.6	WSW	1.1	SE	4.5	S	2.2	SSE	1.1	N	0.6	W	4.5
12-13	NNE	5.6	SW	2.8	ESE	5.6	SW	3.1	W	1.1	SE	5.6	SSE	3.5	SW	1.1	N	1	W	5
13-14	ENE	5.6	SW	2.8	E	6.1	SW	4	WSW	3.9	SE	5.6	SSE	3.8	SW	2.2	E	1.1	SE	5
14-15	ENE	5.6	SW	2.8	SE	6.7	WSW	4.5	W	5	SE	6.1	SSE	4.5	SW	2.8	W	1.6	SE	5
15-16	ENE	6.7	SW	3.3	SSE	5	WSW	4.6	W	5	S	5.6	SSE	4.1	SW	2.8	W	2.5	SE	5
16-17	E	6.7	WSW	3.9	SSE	5.6	WSW	4.6	W	5.6	SE	3.3	SSE	4.4	SW	2.8	W	2.8	SE	5
17-18	E	6.1	WSW	3.9	SSE	5.6	WSW	3.9	W	4.5	SE	3.3	SSE	4.2	W	2.8	W	3.3	E	5
18-19	E	5	SW	2.8	SSE	5.6	W	3.7	W	3.9	SE	3.9	SSE	3.33	W	2.2	W	3.6	N	3.9
SEPTIEMBRE																				
7-8	N	4.3	N	1.1	NNE	3.9	N	1.7	NE	7.2	C	0	N	2.5	N	1.1	NNE	0.6	NE	0.6
8-9	N	2.2	N	1.7	NE	4.5	E	1.7	NNE	4.5	C	0	NE	2.4	N	1.1	NE	0.6	N	0.6
9-10	N	2.8	N	2.2	NE	4.5	SE	1.7	SW	3.9	N	0.6	N	2.7	N	1.1	NNE	0.6	NE	0.6
10-11	N	2.2	WNW	2.8	NE	4.5	SW	2.5	E	5	NNW	0.6	N	1.6	SE	2.2	C	0	NE	0.9
11-12	N	1.4	W	3.9	ENE	5	SW	3.3	E	4.5	ENE	1.1	N	1.3	SW	2.8	C	0	NE	1.1
12-13	S	2.8	W	5	E	5.6	SW	3.3	NNE	3.3	W	2	NNE	1.4	W	3.3	C	0	NE	1.7
13-14	SW	3.3	W	5.6	ESE	6.1	W	4.2	S	4.5	W	2.8	NE	1.7	W	3.3	SSW	1.4	SSE	2.1
14-15	WSW	3.1	W	6.1	E	4.5	W	5	S	3.3	W	3.2	E	2.8	W	3.3	SW	1.7	WSW	2.5
15-16	W	2.5	W	6.1	ESE	5	W	4.5	SW	3.3	W	3.3	SE	2.7	W	3.3	W	1.4	SSW	2.5
16-17	W	2.2	W	6.1	SE	5.6	W	5.4	W	2.8	W	3.6	SE	2.8	W	3.3	W	1.8	WSW	2.7
17-18	W	2.5	W	5.6	SE	5.6	W	4.6	SW	3.3	W	3.3	SE	2.8	W	4.5	W	2.1	W	2.5
18-19	W	2.2	W	5	ESE	4.5	W	3.9	SW	3.9	W	2.8	SE	2.2	NW	3.3	W	1.8	WNW	2
OCTUBRE																				
7-8	N	2.2	N	1.5	NNW	1.7	NW	1.7	NNW	1.1	N	1.1	N	1.7	N	1.1	NNW	1.1	NNW	1.8
8-9	N	1.3	N	1.7	N	2.2	NNW	1.7	NNW	1.7	N	1.1	N	1.7	N	1.1	N	1.1	NNW	2.5
9-10	NE	1.9	N	1.9	N	2.2	N	1.7	NNW	1.7	NE	1.1	N	1.7	NE	1.1	NNE	1.1	NNW	3
10-11	N	1.1	N	2.2	N	1.7	NNE	1.7	C	0	SE	1.1	N	1.7	NE	1.7	W	1.6	NNW	3.3
11-12	NNE	1.1	N	2.5	WSW	1.1	NNE	1.8	NNE	1.1	W	3.9	N	1.7	NE	1.7	WNW	1.7	N	2.9
12-13	S	3	WSW	2.9	W	3.3	W	2.8	W	3.3	W	3.3	W	1.7	W	3.3	WNW	2.6	N	3.2
13-14	SSW	4	WSW	3.1	W	4.5	WSW	3.3	WNW	4.5	W	3.3	W	2.8	W	3.9	W	3.6	SW	6
14-15	SW	4.5	WSW	3.9	W	4.5	WSW	3.6	WNW	4.5	WNW	4.5	W	2.2	W	4.5	WNW	4.2	WSW	6.8
15-16	WSW	4.6	WSW	4.4	WSW	4.5	W	3.9	WNW	4.5	WNW	5.6	W	3.3	W	5	W	4.1	WSW	7.3
16-17	W	4.4	W	4.4	WSW	5	WSW	3.9	WNW	4.5	W	5	W	3.9	W	3.9	WNW	4.2	WSW	7.5
17-18	W	3.9	W	4.5	W	3.9	WSW	3.4	WNW	4.5	WNW	3.9	WNW	3.9	W	3.9	WNW	3.6	WSW	7.5
18-19	W	3	W	4.5	W	4.5	W	3.3	WNW	4.54	WNW	3.3	WNW	3.3	W	3.3	WNW	3.3	W	6.5
NOVIEMBRE																				
7-8	N	2.2	N	0.9	N	1.1	N	1.1	N	2.2	WNW	1.1	N	1.7	N	1.1	NNW	0.6	N	2.3
8-9	N	2.2	N	1.5	N	1.1	N	1.1	N	1.9	WNW	1.1	NE	2.8	N	1.1	NNW	1.1	N	2.1
9-10	N	2.2	N	2.7	N	1.1	N	1.1	N	1.7	WNW	1.4	N	2.8	NE	1.7	NNW	1.1	N	2.5
10-11	N	1.1	N	3.5	N	1.1	NNE	1.1	NNE	1.7	WNW	1.1	E	2.2	E	1.7	NW	1.1	NNE	2.4
11-12	N	1.1	E	4.3	N	1.1	NNE	1.1	NNE	1.2	N	1.7	S	2.2	NE	1.7	W	1.1	NE	2.7
12-13	WSW	2.8	SW	5.4	W	2.2	SW	3.9	NW	3	WSW	2.5	S	2.8	E	3.3	WNW	2.2	WSW	5.8
13-14	WSW	3.3	SSW	6.2	W	2.2	W	3.9	NW	3.6	WSW	2.9	SW	3.3	S	3.9	W	2.2	WSW	7
14-15	W	5	SW	6.8	W	3.33	WSW	5	WNW	3.9	WSW	3.6	SW	3.3	S	4.5	W	2.2	SW	8
15-16	W	5.6	SW	6.9	W	3.3	W	5	WNW	3.1	W	3.5	SW	3.9	S	5	W	2.2	WSW	7.5
16-17	W	5.6	SW	6.4	W	4.5	W	5.6	WNW	3.4	W	3.33	SW	3.9	WSW	3.9	W	2.2	WSW	7.8
17-18	W	4.5	SW	5.7	W	3.9	W	4.5	NW	3.6	WSW	3.1	W	3.9	W	3.3	W	2.2	WSW	7.1
18-19	W	2.8	SW	5	W	3.3	WNW	3.9	WNW	3.3	SW	2.8	W	3.9	W	3.3	W	2.2	WSW	5
DICIEMBRE																				
7-8	NNW	1.1	NNE	1.7	N	1.7	N	1.1	N	1.1	N	1.7	N	1.1	N	1.1	N	1.1	N	1.1
8-9	N	1.7	NNE	1.7	N	2.2	N	1.1	N	1.7	N	1.7	N	1.1	N	1.1	N	1.1	N	1.7
9-10	N	0.6	NNE	1.7	N	2.2	N	1.11	N	1.7	NNW	1.7	N	1.1	NE	1.7	N	1.1	N	2.2
10-11	N	0.6	SSW	2.8	N	2.2	NNE	1.1	N	1.7	NNW	1.7	NE	1.1	E	1.7	NNE	1.1	N	2.2
11-12	ENE	0.6	SSE	2.8	E	2.2	NNE	2.2	N	2.2	NNW	1.1	N	1.1	NE	1.7	NE	1.1	N	2.8
12-13	SSW	2.8	SSE	4.5	SW	2.8	E	2.2	N	4.5	S	3.9	NE	1.7	E	1.7	SSW	1.1	W	4
13-14	WSW	3.3	SSE	4.5	SSW	2.2	WSW	4.5	W	4.5	SSW	3.9	W	1.7	S	1.7	W	1.7	W	6.1
14-15	WSW	4.5	SSE	5	SW	2.2	WSW	5	W	5	S	3.3	NW	1.7	S	1.7	W	1.7	WNW	6.7
15-16	WSW	4.5	SSW	4.5	SW	2.2	S	5	W	5.6	S	3.9	W	1.7	S	1.7	W	1.7	W	5
16-17	WSW	4.5	WSW	4.5	SW	0.8	S	5	W	5.9	S	2.8	SW	2.2	WSW	1.7	W	2.2	WNW	6.7
17-18	W	5.6	SW	4.5	SW	0.8	SSW	5	W	5.9	W	2.2	W	2.2	W	1.7	W	1.7	WNW	5
18-19	W	3.9	SSW	4.5	SW	0.8	SSW	3.9	W	3.9	W	1.7	SW	1.7	W	1.7	W	1.7	W	4

Representación gráfica de dirección e intensidad de los vientos más comunes de Acapulco en el primer semestre. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, periodo 1991-2000

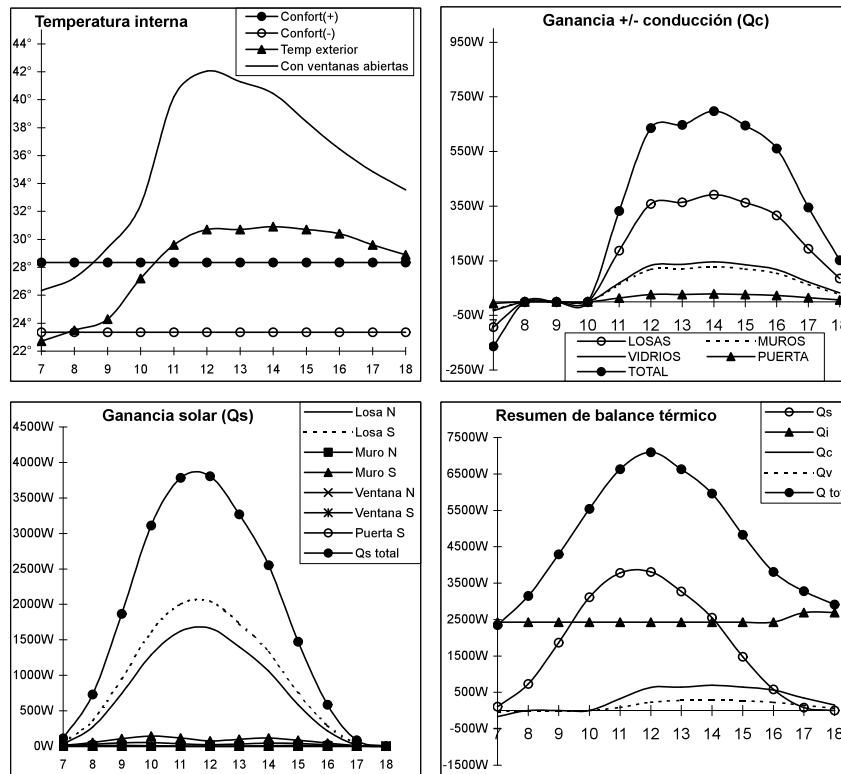


Representación gráfica de dirección e intensidad de los vientos más comunes de Acapulco en el segundo semestre. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, periodo 1991-2000

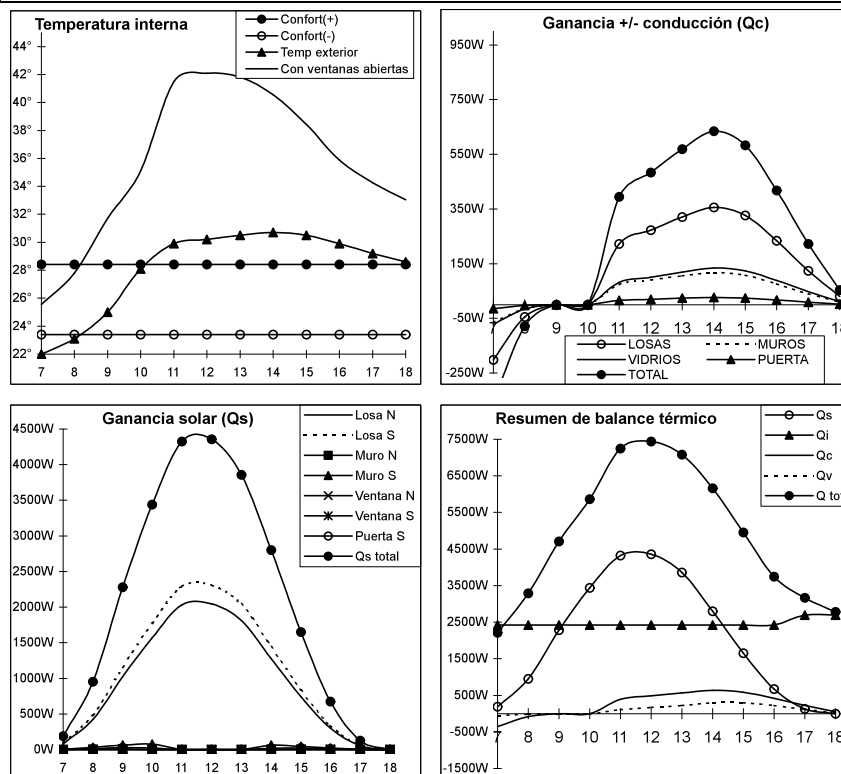


Complemento de gráficas de meses no fueron expuestos en el capítulo 5
Balance térmico en aulas actuales de Acapulco (Febrero, arriba y Marzo, abajo)

Ciudad: Acapulco Mes: Febrero Tipo de techo: Losa normal Rotación: 0°

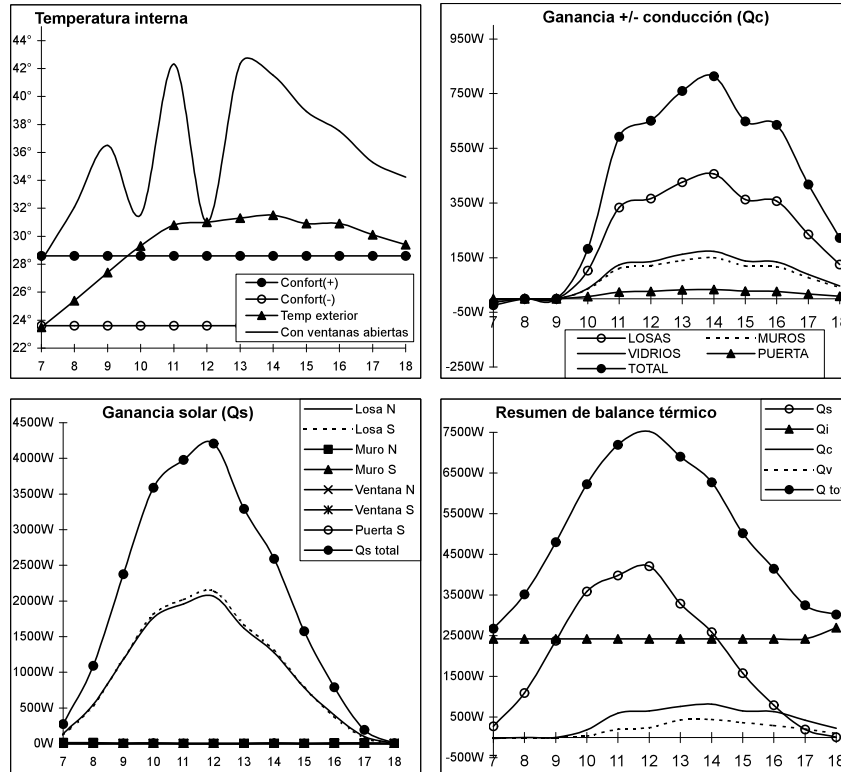


Ciudad: Acapulco Mes: Marzo Tipo de techo: Losa normal Rotación: 0°

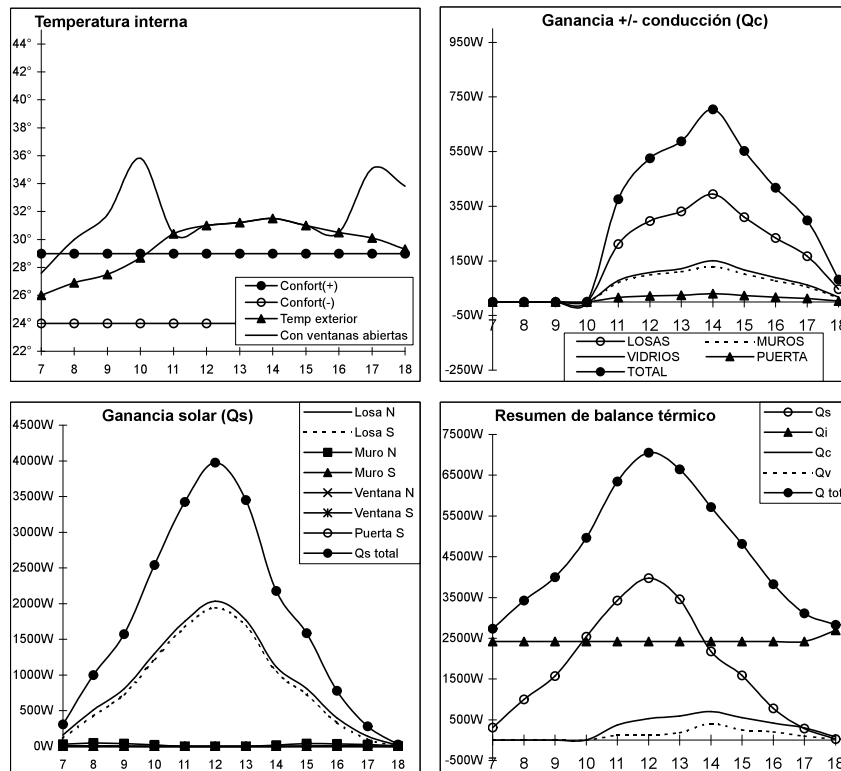


Complemento de gráficas de meses no fueron expuestos en el capítulo 5
Balance térmico en aulas actuales de Acapulco (Abril, arriba y Junio, abajo)

Ciudad: Acapulco Mes: Abril Tipo de techo: Losa normal Rotación: 0°

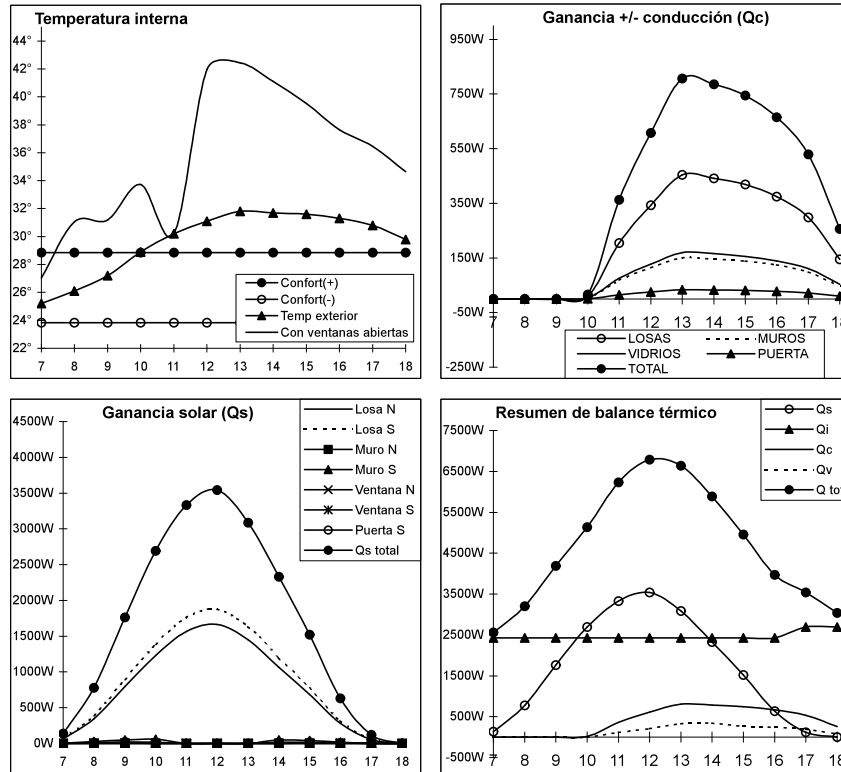


Ciudad: Acapulco Mes: Junio Tipo de techo: Losa normal Rotación: 0°

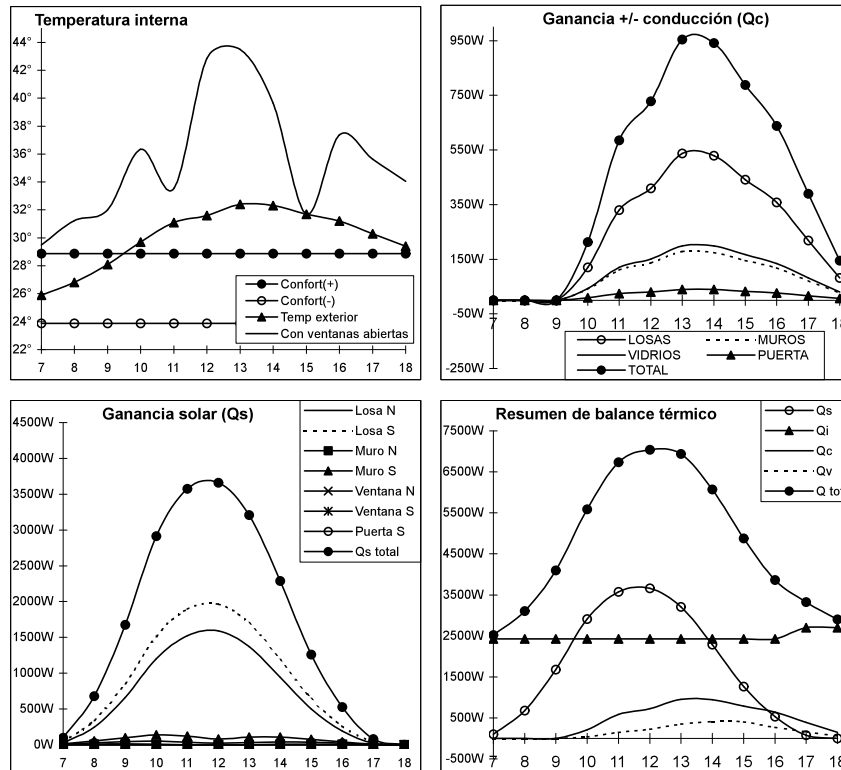


Complemento de gráficas de meses no fueron expuestos en el capítulo 5
Balance térmico en aulas actuales de Acapulco (Septiembre, arriba y Octubre, abajo)

Ciudad: Acapulco Mes: Septiembre Tipo de techo: Losa normal Rotación: 0°

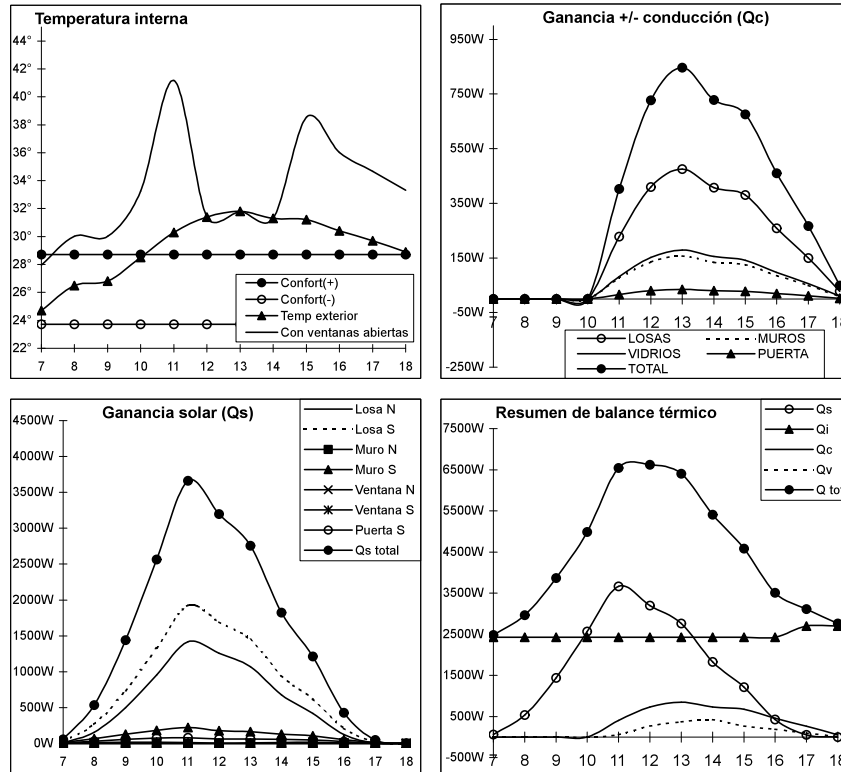


Ciudad: Acapulco Mes: Octubre Tipo de techo: Losa normal Rotación: 0°

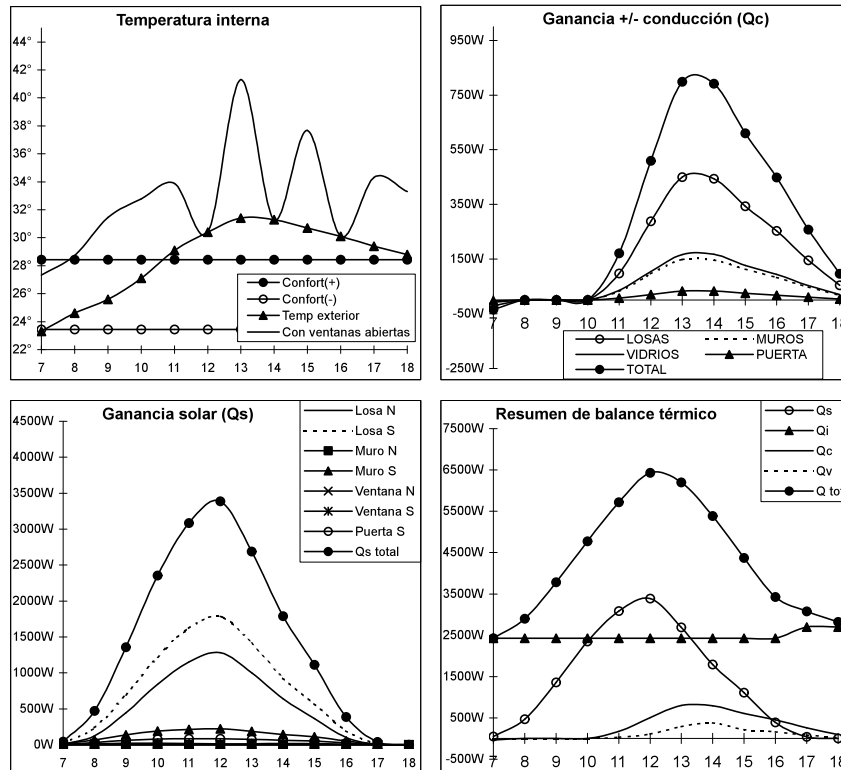


Complemento de gráficas de meses no fueron expuestos en el capítulo 5
Balance térmico en aulas actuales de Acapulco (Noviembre, arriba y Diciembre, abajo)

Ciudad: Acapulco Mes: Noviembre Tipo de techo: Losa normal Rotación: 0°



Ciudad: Acapulco Mes: Diciembre Tipo de techo: Losa normal Rotación: 0°



APENDICE DEL CAPITULO 6

Valores horarios de temperatura de bulbo seco de la ciudad de La Paz proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional dentro del periodo de 1992-2001.

La Paz, Baja California Sur													Temperaturas horarias (°C)																																										
Hora	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	Prom		92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	Prom		92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	Prom		92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	Prom								
Enero													Febrero													Marzo																													
7	15.0	17.2	11.8	11.4	16.4	13.8	13.8	11.3	12.0	10.0	13.3		9.6	18.2	10.0	19.4	17.0	13.4	13.2	9.8	16.6	n.d.	14.1		18.0	18.4	17.6	14.6	15.0	18.2	15.8	11.2	15.0	14.4	15.8																				
8	15.9	17.4	12.4	11.8	16.8	14.6	15.4	13.2	13.8	11.8	14.3		10.0	18.8	12.7	19.0	17.6	13.4	14.4	12.9	19.2	n.d.	15.3		19.0	19.2	19.4	15.4	20.4	19.6	18.0	17.2	16.4	17.2	18.2																				
9	19.2	19.4	17.8	15.2	19.0	16.8	19.4	18.2	17.6	13.2	17.6		16.1	20.0	17.2	23.0	21.4	16.8	16.7	18.9	21.8	n.d.	19.1		22.8	20.8	22.2	19.2	23.6	21.2	21.4	20.6	18.8	24.0	21.5																				
10	21.3	21.5	22.7	19.8	21.0	20.0	20.4	21.4	21.8	19.4	20.9		23.1	23.7	22.4	25.0	24.0	21.2	20.4	25.4	26.2	n.d.	23.5		23.2	21.8	24.2	24.7	28.6	24.3	23.4	25.6	22.0	27.8	24.6																				
11	21.5	21.2	24.2	20.4	22.6	23.0	21.2	25.2	24.6	21.6	22.6		23.9	24.7	23.4	25.8	26.6	23.8	22.0	26.4	27.6	n.d.	24.9		22.6	24.7	24.4	27.8	31.0	26.8	24.8	26.4	23.8	30.8	26.3																				
12	22.9	21.9	27.0	22.0	23.4	25.0	22.7	27.4	28.2	22.0	24.3		26.2	27.4	25.8	26.4	29.6	24.4	21.6	29.0	28.6	n.d.	26.6		21.2	28.8	27.4	30.0	33.2	29.0	24.7	28.2	25.8	28.8	27.7																				
13	23.2	22.8	28.4	21.6	23.0	24.8	22.9	29.0	31.4	21.8	24.9		25.0	29.4	26.5	27.2	32.0	24.8	20.0	29.1	29.0	n.d.	27.0		21.4	30.4	28.3	31.8	34.0	29.8	26.4	30.8	27.2	27.8	28.8																				
14	22.6	22.4	28.4	22.5	23.8	25.0	22.8	29.4	32.0	22.0	25.1		25.6	28.3	26.8	27.4	32.4	25.2	22.2	30.0	29.6	n.d.	27.5		22.4	31.8	29.5	32.4	33.8	30.7	26.8	31.4	27.4	27.4	29.4																				
15	23.9	22.4	28.4	22.2	23.8	25.0	23.7	30.2	30.4	23.2	25.3		25.4	26.8	26.7	28.4	33.4	26.0	22.2	30.0	29.0	n.d.	27.5		21.4	32.7	29.0	31.4	34.8	30.0	27.4	32.6	28.0	31.0	29.8																				
16	24.0	22.0	28.3	22.0	24.3	25.2	23.8	30.4	29.2	20.8	25.0		26.4	26.0	27.4	28.2	33.0	22.2	22.2	29.2	30.4	n.d.	27.2		21.0	30.7	28.5	30.4	34.4	31.0	27.2	31.8	26.1	34.8	29.6																				
17	22.4	21.4	28.2	21.2	24.0	24.9	23.2	29.4	26.6	20.0	24.1		26.9	26.4	27.0	26.2	32.6	22.0	21.2	28.4	29.6	n.d.	26.7		22.0	29.8	28.2	29.8	32.2	30.4	26.2	30.2	25.6	32.8	28.7																				
18	20.0	20.8	25.2	21.2	22.0	22.5	22.4	26.2	23.2	19.0	22.3		23.2	24.6	23.9	24.0	29.8	20.4	19.6	25.8	27.0	n.d.	24.3		20.6	26.8	26.6	28.8	29.3	28.4	24.7	28.2	23.6	28.8	26.6																				
Abril													Mayo													Junio																													
7	15.6	16.1	20.4	13.2	16.0	15.8	19.0	17.8	19.2	16.8	17.0		19.2	18.6	19.0	18.4	20.2	22.8	23.0	18.0	15.2	17.0	19.1		24.8	21.3	21.0	27.2	22.3	25.2	27.1	26.0	21.8	24.8	24.2																				
8	18.4	20.5	22.4	17.8	15.4	19.2	22.4	22.4	21.8	20.9	20.1		20.4	19.4	22.4	23.4	24.0	26.2	24.6	21.0	17.6	18.4	21.7		27.4	25.0	22.4	30.2	23.2	28.6	29.8	27.0	24.0	26.8	26.4																				
9	26.3	25.8	25.1	22.0	18.6	24.1	28.1	29.0	26.1	25.2	25.0		23.0	22.2	26.1	29.8	28.4	30.2	28.7	24.8	21.2	22.0	25.6		34.3	29.8	28.3	33.9	25.0	32.6	34.0	28.2	26.6	32.2	30.5																				
10	29.3	29.0	29.2	24.8	25.0	28.9	31.4	31.4	29.4	27.4	28.6		24.8	23.0	28.5	35.0	30.4	32.8	30.9	28.4	24.0	24.6	28.2		36.2	34.8	32.8	35.7	28.5	34.0	35.6	28.8	29.8	35.0	33.1																				
11	30.8	30.6	30.4	28.0	28.6	30.4	32.4	33.4	32.6	28.4	30.6		26.5	24.1	27.7	34.6	31.0	33.9	31.4	31.0	26.0	28.2	29.4		37.2	36.4	33.8	37.4	32.4	35.6	37.2	33.2	31.6	34.8	35.0																				
12	31.2	31.4	29.3	30.0	30.2	29.4	33.8	37.0	35.4	29.6	31.7		28.4	26.8	29.9	35.0	30.2	31.6	33.2	32.4	30.4	32.4	31.0		38.5	36.4	33.4	37.8	34.8	38.8	38.2	33.8	30.8	34.8	35.7																				
13	31.0	31.8	29.8	30.0	31.2	31.6	34.0	38.8	35.5	32.0	32.6		29.0	28.8	31.4	33.7	31.4	33.0	34.0	33.4	32.4	33.4	32.1		38.4	39.0	32.4	38.6	37.2	39.6	39.4	34.4	31.8	35.6	36.6																				
14	32.0	32.5	31.7	30.4	31.4	31.3	35.6	37.8	35.6	32.7	33.1		30.4	30.0	32.8	35.2	32.2	32.2	33.8	34.6	34.0	34.0	32.9		38.4	39.3	31.8	38.7	37.2	39.0	39.2	35.5	33.6	37.0	37.0																				
15	32.2	32.5	31.3	31.0	31.8	32.2	36.8	38.8	36.7	31.0	33.4		31.2	30.4	32.8	35.0	33.0	35.0	36.2	35.6	38.0	34.6	34.2		39.0	37.6	34.4	38.9	36.0	38.2	39.8	34.9	35.0	38.0	37.2																				
16	32.0	34.0	29.6	30.8	32.0	34.2	35.7	38.6	36.6	34.4	33.8		30.6	30.9	32.2	34.6	34.8	35.9	34.0	37.2	33.2	35.0	33.8		37.8	36.4	35.2	40.0	33.9	39.3	39.0	34.3	35.0	37.6	36.9																				
17	30.4	34.2	31.5	30.8	32.2	31.8	35.4	38.6	35.6	34.6	33.5		29.6	28.8	31.6	34.5	33.2	35.0	33.5	36.2	30.8	30.0	32.3		39.4	34.6	34.4	37.2	32.8	38.2	36.8	27.2	33.2	37.6	35.1																				
18	29.6	29.0	31.0	29.4	32.0	27.4	33.6	36.4	33.6	31.1	31.3		27.4	28.3	29.3	32.6	31.2	33.4	31.2	34.0	28.2	30.8	30.6		36.6	34.0	34.3	35.0	30.0	35.8	35.0	33.4	31.0	36.8	34.2																				
Julio													Agosto													Septiembre																													
7	26.8	25.2	24.3	27.2	26.4	26.2	27.2	25.0	n.d.	25.6	26.0		25.8	27.4	25.0	25.4	26.8	28.2	26.4	25.4	27.4	26.4	26.4		24.4	22.6	26.6	26.8	22.8	27.2	24.0	24.8	25.6	25.4	25.0																				
8	27.6	26.4	25.2	29.2	29.0	27.8	28.6	28.2	n.d.	28.4	27.8		26.0	28.6	25.6	28.0	29.4	30.4	29.6	28.2	28.8	29.4	28.4		26.4	24.8	27.1	28.6	25.8	29.4	26.6	25.2	27.2	28.8	27.0																				
9	29.8	29.4	26.4	32.2	31.2	31.4	30.6	30.4	n.d.	32.2	30.4		27.8	25.8	28.2	30.6	32.0	35.4	33.8	32.4	33.0	33.6	31.3		28.9	28.8	29.5	30.3	28.6	33.4	29.2	26.4	28.4	33.2	29.7																				
10	31.2	30.8	30.8	34.8	34.0	34.2	31.4	30.4	n.d.	35.0	32.5		29.8	27.7	31.2	32.4	34.3	36.0	36.6	35.4	36.1	36.4	33.6		30.4	33.5	30.1	32.4	31.9	35.0	30.2	27.8	31.0	34.8	31.7																				
11	33.6	32.8	32.7	36.4	36.2	35.2	33.4	34.8	n.d.	37.8	34.8		31.4	28.9	33.2	33.4	36.0	36.4	37.3	37.4	38.0	38.4	35.0		31.5	34.2	31.1	33.6	33.5	35.4	31.2	29.0	32.0	35.8	32.7																				
12	35.3	32.8	35.4	37.2	36.6	37.2	34.0	34.0	n.d.	39.0	35.7		33.6	33.0	35.8	32.6	35.8	36.0	37.3	37.8	40.2	39.6	36.2		32.1	35.9	34.4	34.6	34.6	35.8	33.6	30.6	33.4	36.1	34.1																				
13	35.0	32.8	36.4	38.2	37.1	38.4	34.4	34.6	n.d.	39.0	36.2		33.8	35.4	36.8	34.0	37.4	35.8	38.3	38.4	40.5	41.0	36.1		32.7	34.4	35.2	37.8	34.5	38.0	35.0	31.0	34.4	37.3	34.0																				
14	35.4	33.0	33.6	38.7	38.0	38.0	33.4	34.0	n.d.	38.6	35.9		34.2	35.4	36.7	34.0	36.8	36.0	38.6	36.7	38.7	40.0	36.7		33.1	31.4	36.9	25.2	34.3	37.6	35.6	31.8	34.4	38.0	33.8																				

Valores de humedad relativa horaria de la ciudad de La Paz proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional en el periodo de 1992-2001

La Paz, Baja California Sur											Humedad relativa horarias (%)																						
Hora	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	Prom	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	Prom	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	Prom
Enero											Febrero											Marzo											
7	99	86	84	97	87	89	79	70	84	87	86	90	90	71	83	76	84	88	78	68	n.d.	81	73	89	62	93	47	76	81	52	83	64	72
8	100	89	84	96	85	89	68	67	61	80	82	90	87	60	82	76	80	78	71	65	n.d.	77	66	87	57	95	38	73	75	49	78	53	67
9	87	82	74	84	77	83	58	62	61	78	75	76	83	52	69	68	69	60	53	66	n.d.	66	58	81	50	70	62	66	62	42	65	42	60
10	79	77	64	69	67	66	55	59	48	63	65	68	75	37	60	62	48	53	33	45	n.d.	53	55	65	46	42	25	54	52	34	51	34	46
11	71	70	57	65	57	55	52	41	45	60	57	71	70	33	54	50	35	46	25	39	n.d.	47	61	41	46	38	26	47	51	28	51	29	42
12	66	66	53	59	54	44	47	26	34	58	51	62	65	30	53	35	40	47	24	36	n.d.	44	67	27	35	22	23	42	50	27	37	32	36
13	62	66	52	63	56	43	43	25	24	58	49	62	42	24	50	24	48	42	26	37	n.d.	39	69	25	32	19	20	38	46	12	31	46	34
14	59	70	52	54	53	42	43	23	21	58	48	68	52	22	49	34	47	41	21	36	n.d.	41	60	21	32	19	21	36	47	17	33	43	33
15	58	65	51	58	52	41	40	21	29	54	47	59	61	22	42	31	56	40	11	37	n.d.	40	65	21	39	24	16	41	41	16	31	32	33
16	57	58	39	61	54	44	39	17	36	63	47	61	64	24	44	23	60	34	20	33	n.d.	40	64	29	41	25	17	35	36	20	48	25	34
17	57	59	39	57	58	45	40	30	44	67	50	36	66	31	50	24	58	38	22	37	n.d.	40	70	30	41	23	19	36	49	18	42	27	36
18	62	66	48	66	74	54	45	37	72	73	60	50	75	41	64	26	53	43	36	44	n.d.	48	80	40	42	27	24	54	49	29	49	56	45
Abril											Mayo											Junio											
7	71	89	72	83	84	87	60	31	66	89	73	73	98	63	58	74	62	69	68	86	83	73	35	90	75	20	77	55	63	62	82	52	61
8	69	67	66	61	86	74	38	43	52	78	63	78	96	49	43	59	49	63	57	77	79	65	26	71	68	20	72	38	58	65	74	47	54
9	56	64	56	34	71	55	32	23	39	56	49	67	88	45	11	46	27	52	42	60	65	50	16	56	37	9	67	32	46	66	64	37	43
10	43	65	41	26	33	37	26	18	31	44	36	67	73	42	n.d.	40	30	47	33	44	57	48	17	51	37	12	50	28	39	65	54	33	39
11	28	63	31	16	22	28	21	18	23	39	29	58	70	50	9	45	26	52	26	46	47	43	19	46	36	12	43	28	35	51	50	30	35
12	29	55	42	13	21	28	15	18	22	38	28	54	63	38	n.d.	50	32	41	21	35	41	42	19	54	40	18	42	26	34	48	55	34	37
13	28	53	52	21	21	23	15	17	16	31	28	53	53	33	n.d.	54	30	35	17	30	35	38	19	43	51	18	34	23	32	47	52	37	36
14	31	50	39	16	16	24	13	14	13	33	25	49	48	31	n.d.	50	33	37	15	28	36	36	23	43	53	19	35	25	30	41	47	28	34
15	30	50	42	11	15	24	13	11	14	37	25	48	53	35	n.d.	49	28	27	14	26	40	36	37	45	40	16	39	24	31	43	44	28	35
16	31	35	46	14	13	14	12	9	15	30	22	48	75	39	16	37	27	32	7	29	40	35	39	51	35	13	44	27	32	45	44	29	36
17	39	36	34	14	17	35	14	10	16	25	24	55	77	44	22	43	28	37	19	33	49	41	38	45	34	17	45	28	40	85	49	31	41
18	41	57	43	26	17	43	15	23	24	44	33	56	80	39	24	27	31	43	20	38	52	41	43	36	27	17	53	31	44	69	53	29	40
Julio											Agosto											Septiembre											
7	78	81	66	74	75	77	78	61	n.d.	64	73	96	92	84	83	84	83	67	71	72	91	82	88	90	76	88	85	87	80	88	79	88	85
8	75	76	64	60	67	72	70	45	n.d.	54	65	85	81	77	71	77	73	58	57	71	78	73	81	78	78	78	72	78	67	87	71	75	77
9	64	65	60	47	59	56	63	42	n.d.	37	55	78	90	65	60	n.d.	52	43	43	51	58	60	68	66	61	66	64	57	59	79	70	57	65
10	57	63	33	37	50	46	59	38	n.d.	35	46	72	90	52	52	50	48	40	39	38	49	53	61	63	57	58	46	54	56	71	59	54	55
11	48	58	23	31	43	45	59	38	n.d.	32	42	68	84	43	48	45	45	335	38	34	46	79	57	33	54	50	40	58	51	68	54	51	52
12	40	60	23	29	40	36	48	41	n.d.	30	39	56	66	42	51	43	51	35	33	31	47	46	51	33	41	49	31	55	44	60	49	51	46
13	42	59	21	25	38	34	48	50	n.d.	30	39	54	49	44	49	42	49	38	32	36	43	44	52	32	36	81	30	49	41	58	46	51	48
14	41	59	26	23	35	33	50	51	n.d.	32	39	47	50	39	48	40	48	39	39	41	46	44	51	33	32	86	36	50	40	55	48	50	48
15	38	66	41	23	34	39	48	39	n.d.	33	40	48	59	47	51	42	54	37	75	40	49	50	50	37	47	79	40	72	39	53	44	49	51
16	38	65	43	25	36	36	45	38	n.d.	35	40	53	68	38	50	45	87	39	96	41	50	57	44	35	49	67	42	90	42	54	49	48	52
17	45	74	45	26	37	33	48	38	n.d.	37	43	56	66	39	52	45	83	38	60	37	52	53	45	34	55	66	46	91	46	57	52	52	54
18	46	74	44	29	42	34	57	42	n.d.	46	46	56	65	54	57	48	80	38	48	40	53	54	54	39	58	74	54	90	55	62	58	55	60
Octubre											Noviembre											Diciembre											
7	83	77	82	62	78	80	76	79	77	79	77	73	76	72	65	86	77	91	83	91	89	80	78	92	63	77	66	88	68	83	81	88	78
8	80	72	78	62	73	68	70	70	72	57	70	68	75	67	65	80	66	82	76	85	84	75	76	91	60	79	54	88	71	79	78	84	76
9	61	59	68	50	64	55	48	68	59	48	58	56	63	61	64	67	56	67	69	73	74	65	76	81	61	65	54	70	70	74	69	63	68
10	53	60	63	40	52	40	43	48	51	50	50	45	53	58	49	61	58	53	60	64	48	55	75	75	52	60	63	64	65	59	54	54	62
11	40	59	59	30	48	34	43	34	48	39	43	54	53	56	53	55	56	50	48	61	45	53	72	48	44	58	61	64	69	55	58	49	58
12	36	61	52	31	48	21	45	55	45	37	43	39	52	53	53	48	51	49	28	60	46	48	63	53	47	38	54	58	67	50	50	29	51
13	40	51	50	19	50	33	46	46	40	36	41	34	51	50	49	45	50	47	24	57	39	45	66	n.d.	40	32	46	47	70	48	44	19	46
14	45	53	51	19	58	28	43	42	41	40	42	24	52	50	55	42	55	45	28	59	34	44	59	60	49	40	43	46	74	47	45	18	48
15	41	47	48	20	59	30	48	45	42	44	42	28	49	50	54	41	51	45	30	56	33	44	67	65	49	43	40	43	66	43	48	20	48
16	40	49	45	39	54	27	53	42	43	39	43	35	47	53	52	46	54	49	29	52	30	45	75	59	55	43	38	42	66	54	52	23	51
17	39	52	50	44	54	27	59	40	46	44	46	40	54	51	62	51	60	55	41	53	44	51	76	61	57	47	48	36	67	56	59	27	53
18	43	58	63	52	41	30	60	41	52	46	49	69	65	63	71	61	70	63	58	59	51	63	79	68	56	50	66	46	69	67	58	27	59

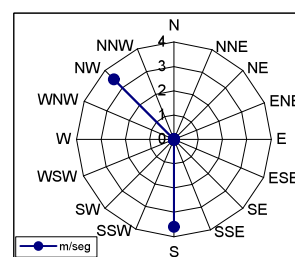
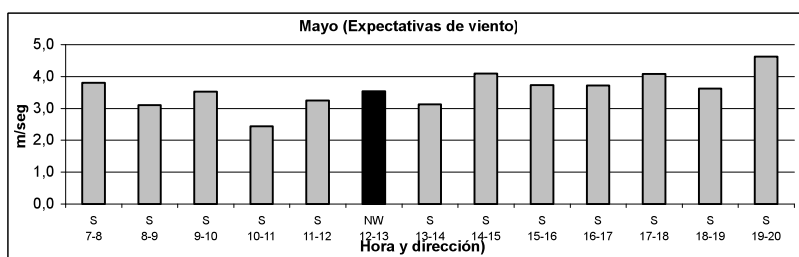
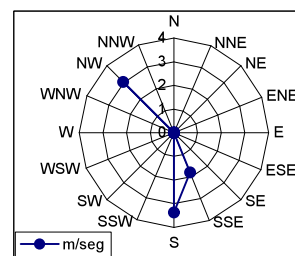
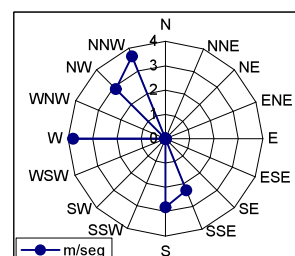
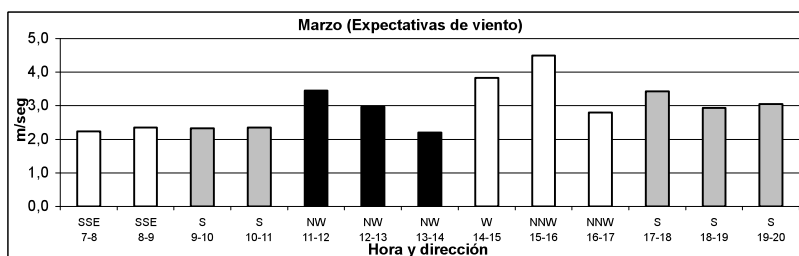
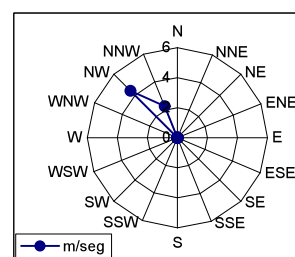
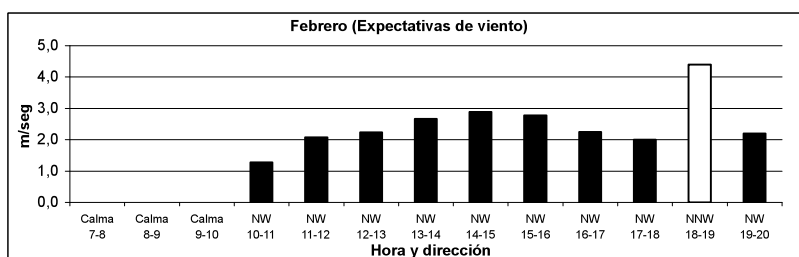
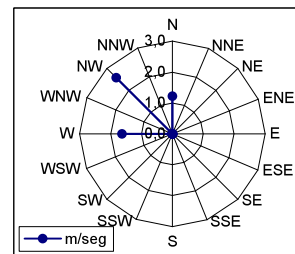
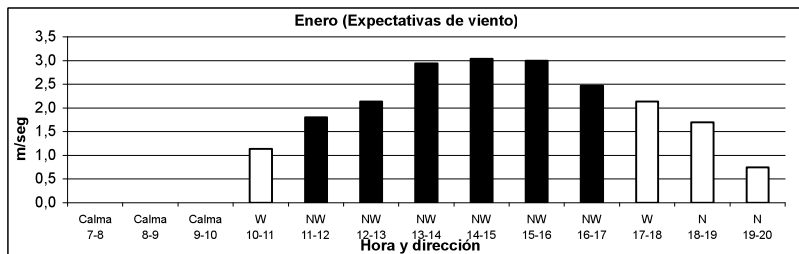
Dirección e intensidad horaria de vientos de la ciudad de La Paz según el Servicio Meteorológico Nacional en el periodo de 1992-2001 (Primer semestre)

La Paz, Baja California Sur																
Vientos en el periodo de 1992-2001																
Año	1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998		1999	
Hora	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci
ENERO																
7-8	Calma	0	NNE	2	Calma	0	W	0.1	N	1.7	ESE	1.1	Calma	0	Calma	0
8-9	Calma	0	NNE	2	Calma	0	S	0.5	NNW	1.7	SSE	1.4	Calma	0	Calma	0
9-10	Calma	0	NE	1.6	Calma	0	N	3.3	NNW	2.8	S	2.3	SSE	0.9	Calma	0
10-11	NW	1	NE	2.1	W	0.6	N	2.7	NNW	3.9	SW	2.9	W	0.8	W	2
11-12	NW	1.5	N	3.2	NW	1	NW	2.4	NW	2.7	W	1.7	NW	1.7	NW	2.5
12-13	NW	1.5	N	2.4	NW	1.5	WNW	3.5	NW	3.5	NW	2.4	NNW	2.2	NW	2.7
13-14	SSW	2	NE	3.4	NW	1.7	WNW	3.2	NW	3.3	NW	3.6	N	3.5	WNW	1.9
14-15	SSW	2.2	NE	2.5	NNE	3.1	NW	2.6	NW	3.1	NW	4.2	N	3.6	NW	1.9
15-16	SSW	3.1	NNE	3	N	3.2	NNW	3.2	NW	3.6	WNW	3.3	NW	2.9	NW	2.2
16-17	SSW	3.4	NNE	2.7	N	2.4	NNW	2.1	NW	2.4	WNW	3	NW	3.1	NW	1.9
17-18	NNE	1	NNE	2.6	NNW	2	W	2.3	W	2.7	N	2.3	NNW	1.4	Calma	0
18-19	NNE	0.7	NNE	2.3	N	2	N	1.2	W	2.3	N	1.9	NE	1.8	Calma	0
FEBRERO																
7-8	S	0.5	Calma	0	Calma	0	SW	0.6	SSE	2.9	SSE	2	Calma	0	Calma	0
8-9	S	0.5	Calma	0	Calma	0	NW	1.1	SSE	2.8	SSE	2	Calma	0	Calma	0
9-10	N	1	Calma	0	SW	1.6	W	2.3	SSE	5.6	SSE	1	N	5	Calma	0
10-11	NNW	1.4	NW	0.5	W	1	W	3.1	SSE	3.1	NW	2	N	4.9	NW	1
11-12	NNW	1.1	NW	1.1	NW	1.9	W	3.8	S	3.4	NW	3.9	N	5.2	NW	1.9
12-13	NNW	2.5	NW	1	NW	1.9	W	3.6	S	2.2	NW	4.1	NNE	4.5	NW	2
13-14	NNW	2.5	NW	1.9	NW	2.3	W	3.4	WNW	1.3	NW	4.2	NNE	4.7	NW	2.5
14-15	NW	3.2	NW	2.4	NW	1.9	W	3.2	WNW	2.2	NW	4.5	NNE	4.5	NW	2.33
15-16	NW	3.4	NW	2.3	NW	2.3	NW	2.4	NNW	2.6	NW	4.6	NNW	6.5	NW	2
16-17	NNE	1.3	NW	1.1	NW	2	NW	2.1	NNW	2.6	NW	4	NNW	6.6	NW	2
17-18	NNE	1.4	NW	1.3	NW	1.1	W	2.5	NNE	1.8	NW	3.8	NNW	6.4	NW	2
18-19	NNE	0.9	NE	1.6	WNW	0.4	NNW	3.6	ENE	1.6	NW	3.3	NNW	5.2	Calma	0
MARZO																
7-8	SE	0.9	S	1.1	NNE	2	SSE	2.9	SSE	1.9	Calma	0	SSE	1.9	Calma	0
8-9	S	1	SW	2.1	NW	3.2	SSE	3.4	SSE	2.5	SSE	1.8	SSE	1.7	Calma	0
9-10	SW	2	SW	1.3	W	2.4	S	2.4	SSE	2.2	SSE	0.6	NNW	1.4	Calma	0
10-11	SW	1.5	S	0.6	W	3.1	S	3.4	S	1.5	SSE	1.4	NNW	1.7	NW	3.3
11-12	WSW	1.9	SW	0.6	W	4	S	3	WSW	1.2	SW	1.8	NW	3.8	NW	3.1
12-13	NW	1.3	S	0.6	WNW	2.4	W	3.9	WSW	1.8	NW	2.3	NW	4.4	NW	3.9
13-14	NW	1.1	S	0.6	W	3.4	S	2.4	WSW	3.7	NW	3.3	NNW	4.7	W	5.2
14-15	NW	0.9	SW	1.1	N	5	W	4.9	W	2.8	NNE	5.3	NNW	5.5	W	3.8
15-16	SE	0.5	SSW	2.5	N	3.4	SSW	3.9	WSW	2.6	NNW	3.8	NNW	5.2	NW	3.4
16-17	NNW	0.4	SSW	2.3	N	3	S	2.9	WSW	3.8	NNW	3	NNW	5	NW	3.7
17-18	NW	0.6	S	2.2	N	2.5	S	3.3	S	4.8	N	2.9	NNE	4.2	NW	2.7
18-19	NNE	0.4	S	1.2	N	2	S	3.6	S	4	W	3.6	N	3.5	NW	2.1
ABRIL																
7-8	SSE	0.9	Calma	0	S	3.5	SSE	2.6	SSE	1.7	SSE	2.2	SSE	1.6	S	2.9
8-9	SSW	1.2	NW	0.2	S	2.7	SSE	3.4	S	1.1	SSE	2.4	SSE	1.9	S	3.1
9-10	WNW	1.5	NW	0.5	S	1.4	S	3	NW	1.2	SSE	1.3	N	1.3	S	3.7
10-11	WSW	1.2	NW	0.7	W	1.1	S	2.3	NW	2.3	W	1.5	NW	1.5	S	3.4
11-12	NNW	1.6	NW	0.8	NW	1.9	S	1.7	NW	2.5	NW	3.5	NW	2.5	S	2.3
12-13	NNW	2.1	W	1.1	NNW	3.4	S	2.3	WNW	2.5	NW	4.1	NW	4	S	1.2
13-14	NNW	2.3	W	1.7	NNW	3.3	NW	2.9	WNW	3.3	NW	3.9	NNW	3.8	NW	3.6
14-15	NW	2.7	W	1.4	WSW	3.4	NW	3.5	WNW	4.1	WNW	3.4	NNW	4.5	NW	3.6
15-16	NW	2.6	W	1.9	WSW	4.9	NW	3.6	WNW	2	NW	2.3	NNW	2.4	NW	3.2
16-17	NW	2.2	W	1.5	S	4.9	NNW	2.5	W	3.1	NW	4.1	NNW	4.1	NW	2.5
17-18	NW	2	W	1.9	S	5.4	NW	1.6	WNW	2.9	NW	4.6	NNW	3.9	NW	2.6
18-19	W	1.1	W	0.5	S	4.7	S	3.6	WNW	0.6	W	4.1	SSE	1.8	S	4.2
MAYO																
7-8	S	2.2	SSE	2.7	S	2.8	SSE	2.9	SSE	1.7	SSE	1.6	Calma	0	SE	4.7
8-9	S	2.4	SSW	2.6	SSE	2.9	SSE	3.1	S	1.1	SSE	1.3	Calma	0	S	4.3
9-10	SSW	2.3	S	2.7	SSE	1.7	SSE	3.8	W	1.2	W	1.8	NW	2	S	3.5
10-11	S	2.4	SSW	2.1	S	1.7	S	2.5	NW	2.3	W	2.4	NNW	3.3	S	2
11-12	SSW	2.4	SW	1.1	S	3.7	S	2.5	NW	2.5	NW	3.9	NW	3.5	NW	2.7
12-13	SW	2.6	W	2	S	4.5	S	1.5	NW	2.5	NW	4.2	NW	4.2	NW	3.4
13-14	SSW	2.6	W	0.8	S	4.3	S	2.7	WNW	3.33	NW	4.2	WNW	4.6	NW	1.5
14-15	SSW	2.4	N	1.1	S	6.3	S	3.8	WNW	4.1	WNW	2.3	NNW	4.2	N	3.9
15-16	SSW	2.1	NW	1.9	S	4.8	S	4.6	WNW	2	NW	2.9	WNW	5	N	2.3
16-17	SSW	2.8	WNW	2.3	S	5.1	S	4.2	W	3.1	NW	2.8	NNW	4.2	Calma	0
17-18	SSW	3.5	W	0.7	S	5	S	4.9	WNW	2.9	NW	2.8	WNW	3.7	S	3.5
18-19	SSW	2.9	SSW	1	S	4	S	1	WNW	0.6	W	1.6	WNW	3.1	S	4.7

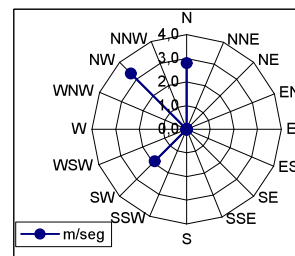
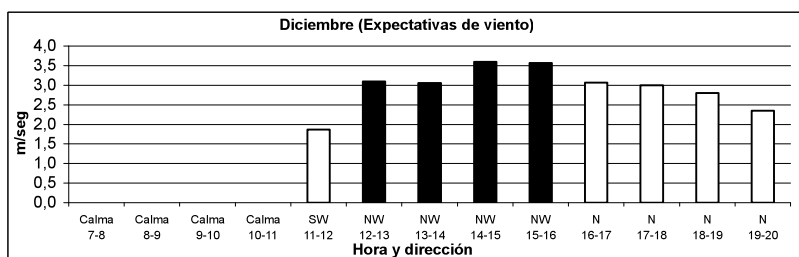
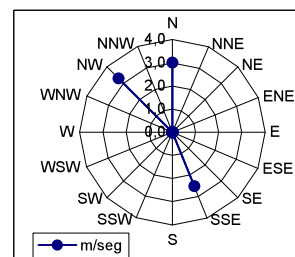
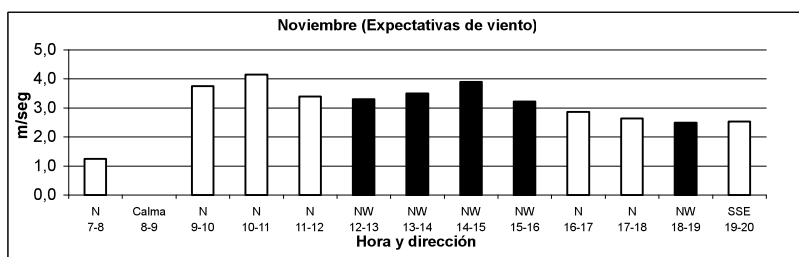
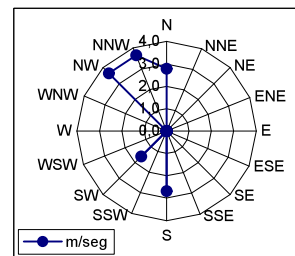
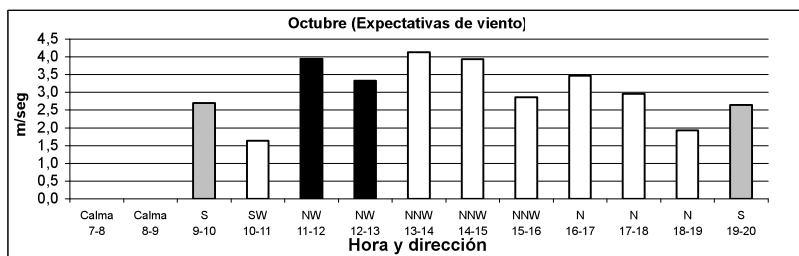
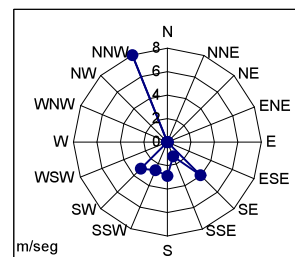
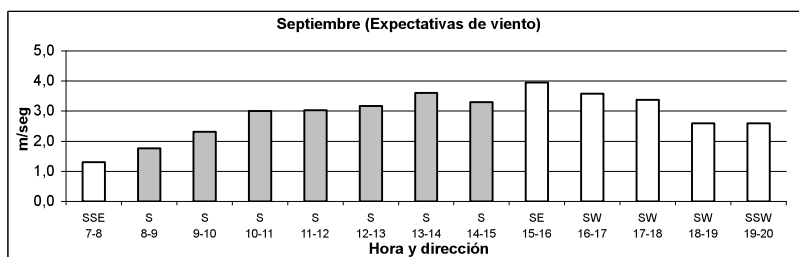
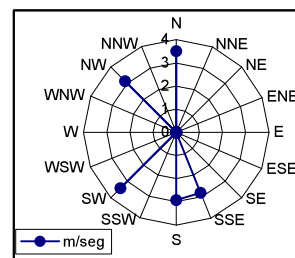
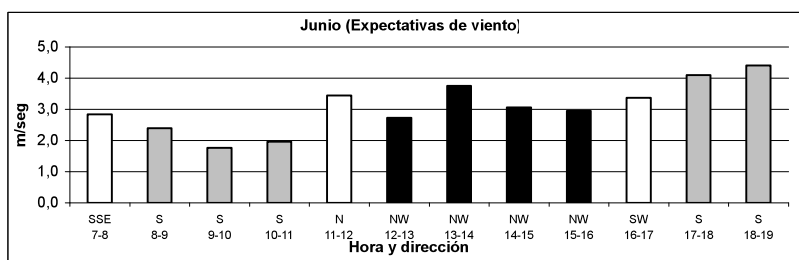
Dirección e intensidad horaria de vientos de la ciudad de La Paz según el Servicio Meteorológico Nacional en el periodo de 1992-2001 (Segundo semestre)

La Paz, Baja California Sur										Vientos en el periodo de 1992-2001										
Año	1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998		1999		2000		2001	
Hora	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloci	Direcc	veloc
JUNIO																				
7-8	S	0.9	SSE	1.7	SSE	3.4	SSE	2.8	SSE	2.7	SSE	3.6	Calma	0	SE	2.1	SE	3.2	S	2
8-9	S	1.5	W	0.6	S	3.5	SSE	3	S	2.9	SSE	3.9	Calma	0	S	1.2	S	2.6	S	2.7
9-10	S	0.8	Calma	0	S	1.4	S	2.5	S	2.3	SSE	3.8	Calma	0	Calma	0	S	1.9	S	1.7
10-11	S	1.2	NW	2	W	2.9	S	2.3	S	1.4	S	3.4	NW	2.3	Calma	0	S	1.5	W	1.3
11-12	SW	2	N	2	N	4.5	W	2	WNW	1.7	S	2.3	N	3.8	S	1.5	N	3.5	W	1.6
12-13	NW	2.8	NW	2.1	W	4.7	NW	2.5	W	2.5	SW	2.8	NNW	3.8	S	2.5	N	3.9	NW	3.5
13-14	NNW	2.1	N	2.8	W	3.8	NW	3.2	S	3.5	NW	3.6	NNW	2.2	NW	4	N	3.9	NW	4.2
14-15	NW	2.4	NNW	3.3	W	4.3	NW	3	S	4.7	NW	3.5	W	1.5	NW	2.2	N	3.2	NW	4.2
15-16	SSW	1.9	NNW	2.1	W	3.1	WNW	1.7	S	5.2	WSW	2.8	SW	3.2	NW	1.7	N	2.2	NW	4.2
16-17	SSW	2.9	NW	1.7	W	3.3	S	5.2	S	4.7	SSW	3.8	SW	4.9	SW	2.9	SW	2.3	NW	4
17-18	S	3.5	NW	0.8	S	2.5	S	4.8	S	5	S	4.1	SW	4.5	SE	1.6	S	4.7	NW	3.6
18-19	S	3.8	W	0.5	S	4.2	S	4.6	S	5.1	SSE	4.4	SW	3.9	SE	1.4	n.	d.	S	4.33
SEPTIEMBRE																				
7-8	SW	0.3	SE	1	SSE	2.3	S	1.7	SSE	1.1	SSE	0.5	Calma	0	SE	2.8	S	2.1	Calma	0
8-9	SW	0.4	SE	1	SSE	3.3	S	2.1	S	0.7	SE	2.6	Calma	0	SSW	2.6	S	2.5	Calma	0
9-10	SSW	0.4	NW	1.1	S	3	S	1.7	S	0.9	SSE	2.3	SSE	1.4	S	3.7	S	2.3	SW	1.4
10-11	SSW	0.8	NW	1	E	3	W	1.5	SW	0.7	S	2.2	SSE	2.4	S	3.8	SW	3	SW	1.5
11-12	NNW	1	NW	1.3	ESE	1.8	W	1.5	NW	2.6	S	2.2	SSE	2.9	S	3.9	S	3	W	1.5
12-13	N	1.6	NW	1.5	N	3.6	S	2.8	NW	3	S	3	SSE	2.8	S	3.8	S	3.1	NW	1.8
13-14	N	1.8	NW	2.8	NNW	3.9	S	6.1	NW	3.3	S	2.2	SW	3.2	S	3.8	S	2.3	NW	1.9
14-15	NE	1.6	WNW	3.7	W	2.4	S	2.5	NW	3.7	NE	7.6	SW	3.4	S	4.1	SW	3	NW	1.4
15-16	NNE	1.2	WNW	3.9	N	2.5	SE	1.9	NW	2.5	SE	6	SW	4	S	4.4	SW	3.3	NW	1.6
16-17	NNE	1.1	WNW	3.6	N	2.9	SSE	2.1	NW	1.5	SE	3.5	SW	4	SW	4.1	SW	4.1	SW	2.1
17-18	NNW	0.5	NNW	3.5	N	4.3	SSE	2.1	NW	2.1	SE	3.4	SW	3.7	SW	3.8	SW	3.9	SW	2.1
18-19	WNW	0.5	NW	1.7	NNW	2.8	SSE	1.9	S	3.1	SW	2.2	SW	2.6	SW	3.9	n.	d.	SW	1.7
OCTUBRE																				
7-8	Calma	0	Calma	0	Calma	0	SSE	1.6	SSE	1.7	Calma	0	SSE	2.8	Calma	0	SE	2.2	SE	1.1
8-9	Calma	0	Calma	0	NW	1.2	S	2.6	SSE	3	SSE	1.2	Calma	0	Calma	0	SSW	1.9	S	0.9
9-10	SW	0.1	N	0.3	NW	2.2	S	3.8	SSE	2	SSE	0.9	SW	1.5	NW	2.6	S	2.1	S	2.2
10-11	SW	0.5	N	1.1	NW	2.9	SSE	1.9	SSE	1.7	WNW	1.1	SW	2.9	NW	3.6	SSW	2.8	SW	1.5
11-12	SW	0.7	N	3.2	NW	3.1	S	2.2	W	2.5	WNW	2.3	N	3.3	NW	4.8	SSW	2.5	W	2.2
12-13	NNW	1.1	N	3.8	NW	3.4	S	2.4	NW	3.1	NW	3.9	NNW	2.7	N	5.1	SSW	3.2	NW	2.9
13-14	W	1.1	N	4.2	NNW	4.2	N	3.8	NW	3.8	NNW	3.4	N	3	NNW	4.8	SSW	3	NW	3.7
14-15	NW	1.5	NNW	4.1	NNW	4.2	W	2.2	WNW	4	NNW	3.5	NNE	2.2	N	5.3	SSW	4.2	NW	3.9
15-16	NNW	1.4	NNW	3.5	NNW	3.7	W	2.9	NW	4.5	N	3.5	NE	2.1	N	4.6	SSW	4.5	NW	2.8
16-17	NNW	0.9	N	3.33	N	3.3	S	3.8	N	3.9	N	3.2	E	0.9	N	3.6	SSW	4.5	NW	2.2
17-18	NNW	0.2	N	3.1	N	2.9	S	3.7	N	3.8	NNE	2.6	SE	1.1	N	3.1	S	3.8	N	1.9
18-19	SSW	1	NNW	3.1	N	2.2	S	2.6	N	2.5	ENE	0.4	SSW	2.4	N	1.1	n.	d.	SSE	2.2
NOVIEMBRE																				
7-8	S	0.1	NE	1	N	1	N	1.5	SSE	2.7	Calma	0	Calma	0	SE	1.4	SW	0.3	SW	0.5
8-9	S	0.1	NE	1.2	N	1.9	NNW	1.6	SSE	3.1	Calma	0	Calma	0	S	1.1	SW	0.4	E	1.5
9-10	SSW	0.2	NNE	2.4	N	3.7	N	3.8	S	3.3	W	0.4	WNW	2.5	SW	1.3	W	1.2	SW	2.4
10-11	SW	0.1	NNE	3.1	N	3.3	N	5	W	3.4	NW	2.6	WNW	3.4	S	1.5	NW	2.3	SW	2.1
11-12	W	0.3	N	2.9	N	3.3	N	4	S	3.5	NW	3.3	WNW	3.9	SSW	1.4	NW	2.2	W	2.1
12-13	W	2.5	N	3	N	3.6	NNW	4.4	SW	3.6	NW	3.3	WNW	3.8	W	2	NW	3.6	WNW	2.7
13-14	SW	3	N	3.4	N	3.2	NNW	4.1	S	2.9	NW	4.4	WNW	4.2	NW	3.9	NW	3.2	NW	2.5
14-15	SW	2.4	N	2.6	N	3	NNW	4.5	S	2.9	NW	3.6	WNW	4	NW	4	NW	3.8	NW	4.2
15-16	W	2.2	NW	3	N	3	NNW	2.7	S	3	NW	3.3	WNW	3.6	NW	3.3	NE	2.9	NW	3.3
16-17	WSW	2.8	NW	2.9	N	3.2	N	2.8	S	3.5	NW	3.5	N	4	NW	1.8	N	3.1	N	1.2
17-18	SW	0.4	NW	3	N	2.7	N	3.4	WSW	3.3	NW	3.5	N	4.2	SW	2.6	N	2.1	N	0.8
18-19	SSW	0.5	NW	2.2	N	2.8	N	3	SSW	3	NW	2.8	NNW	2.3	SW	2.9	n.	d.	W	2
DICIEMBRE																				
7-8	N	1.6	Calma	0	NNW	2.2	SSE	1.5	E	0.5	Calma	0	Calma	0	NE	0.7	Calma	0	SE	2.6
8-9	NNE	2.2	Calma	0	N	1	SE	1.3	Calma	0	Calma	0	Calma	0	SW	0.3	Calma	0	SE	3.6
9-10	NNE	1.5	Calma	0	NW	2	S	1	S	0.7	Calma	0	Calma	0	NW	2.5	NE	2.3	S	3.3
10-11	NNE	2.5	SW	1.8	NW	2.2	S	1.5	W	0.6	Calma	0	Calma	0	NW	3.7	NE	2.9	S	3
11-12	N	2.2	SW	1.7	NW	2.4	SW	1.4	WNW	1.1	Calma	0	NNW	1.4	NW	3.9	NW	3.2	SW	2.5
12-13	NNE	2.8	SW	2.3	n.	d.	S	1.3	W	1.6	W	1.1	NW	3.7	NW	4.2	NW	3.2	NW	1.3
13-14	NNE	2.6	SW	0.5	NW	2	SSW	2	W	1.8	WSW	2.2	NW	3.8	NW	4.5	NW	2.9	NW	2.1
14-15	NNE	3	SE	2	NW	1.7	WSW	3.9	W	2.4	WSW	2.2	NW	2.7	NW	4.4	NW	3.9	NW	3.4
15-16	NNE	2.8	S	0.7	NW	2.7	SW	3.1	W	3.2	SW	2.3	N	4	NW	4.2	N	3.4	NW	3.8
16-17	NNW	2.8	SW	2.1	N	2.3	SSW	2.9	W	1.9	SW	2.3	N	3.9	NW	4.2	N	3	NW	2.9
17-18	NNE	1.6	SE	2.7	N	1.6	SSW	2	W	1.4	Calma	0	N	4.4	NW	4.5	N	3	NW	2.9

Representación gráfica de dirección e intensidad de los vientos más comunes de La Paz en el Primer semestre Furente: Servicio Meteorológico Nacional , periodo estudiado 1992-2001



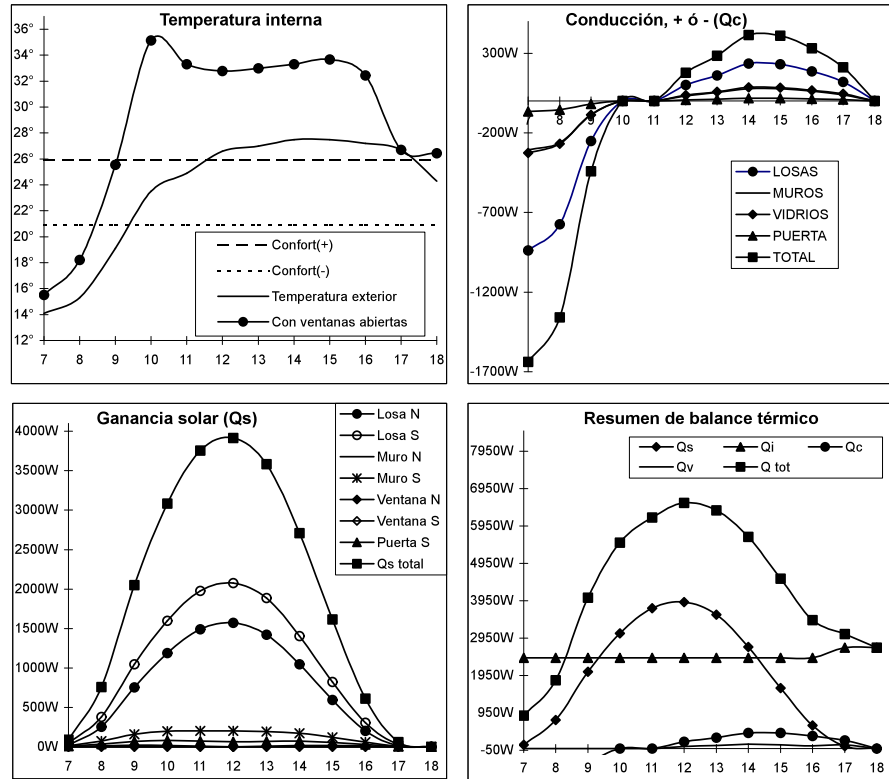
Representación gráfica de dirección e intensidad de los vientos más comunes de La Paz en el segundo semestre. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, periodo estudiado 1992-2001



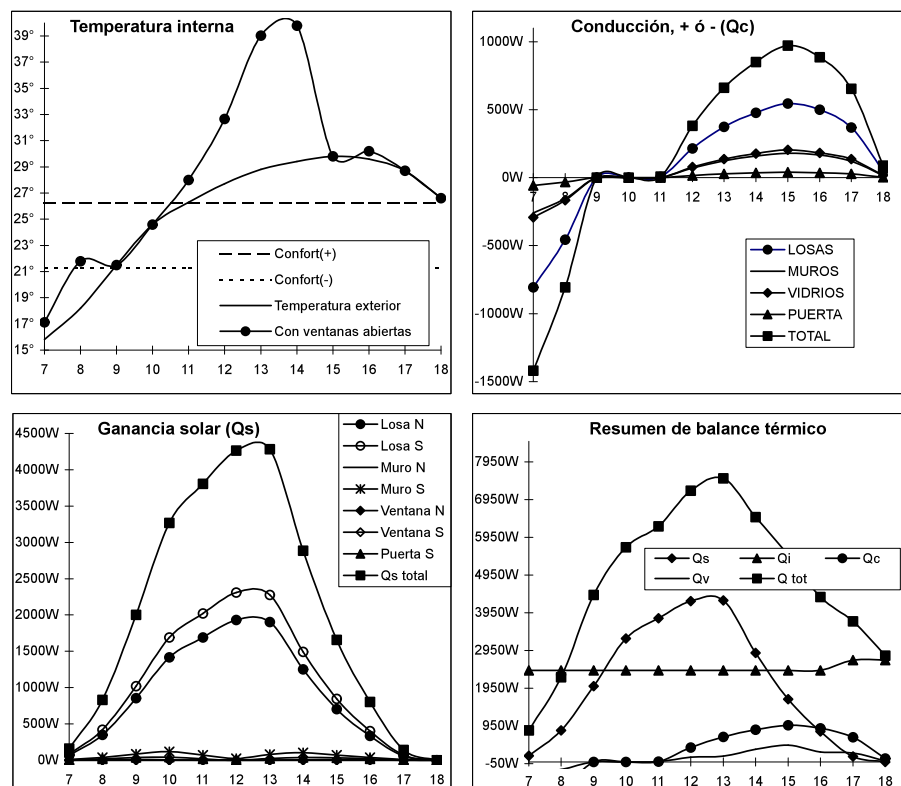
Complemento de gráficas de los meses que no fueron expuestos en el capítulo 6

Condiciones térmicas en aulas actuales CAPFCE en La Paz (Febrero, arriba y Marzo, abajo)

Ciudad: La Paz, B.C.S. Mes: Febrero Tipo de techo: Losa normal Rotación: 0°

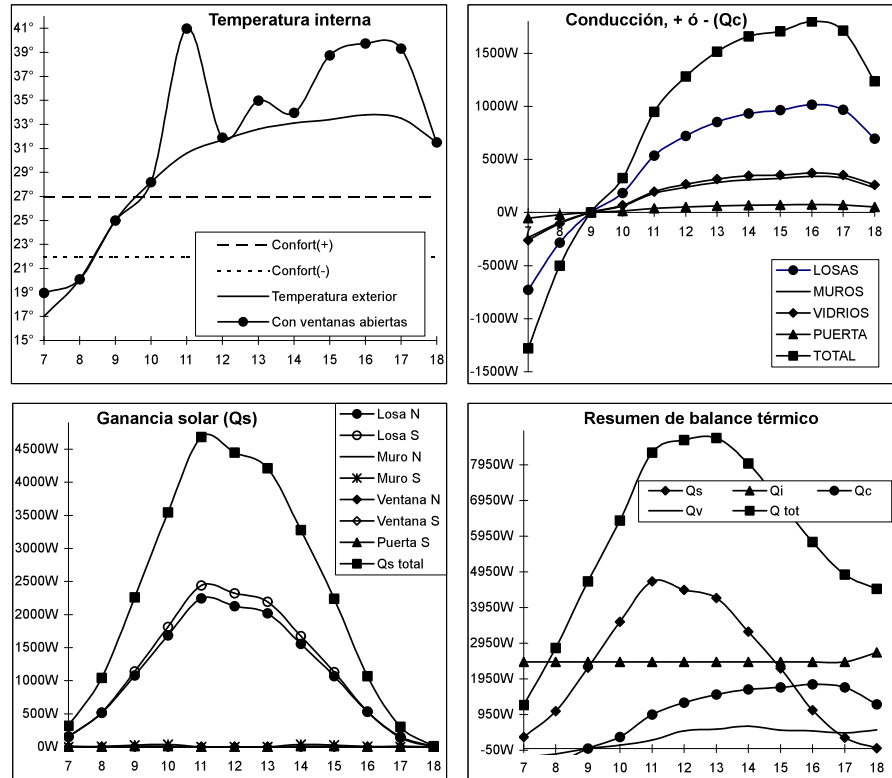


Ciudad: La Paz, B.C.S. Mes: Marzo Tipo de techo: Losa normal Rotación: 0°

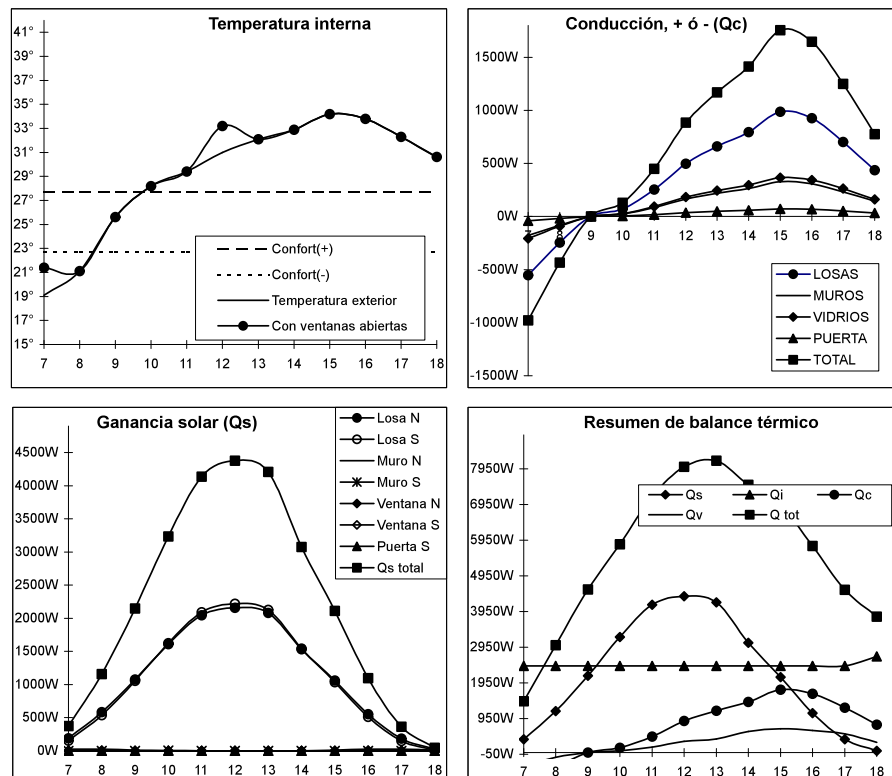


Condiciones térmicas en aulas actuales CAPFCE en La Paz (Abril, arriba y Mayo, abajo)

Ciudad: La Paz, B.C.S. Mes: Abril Tipo de techo: Losa normal Rotación: 0°



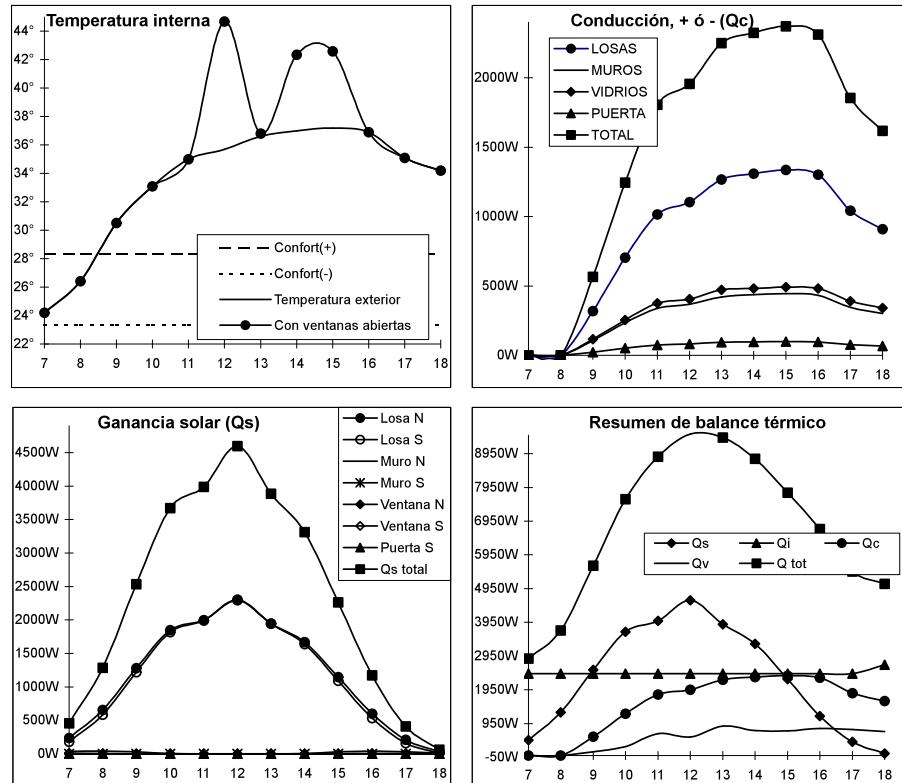
Ciudad: La Paz, B.C.S. Mes: Mayo Tipo de techo: Losa normal Rotación: 0°



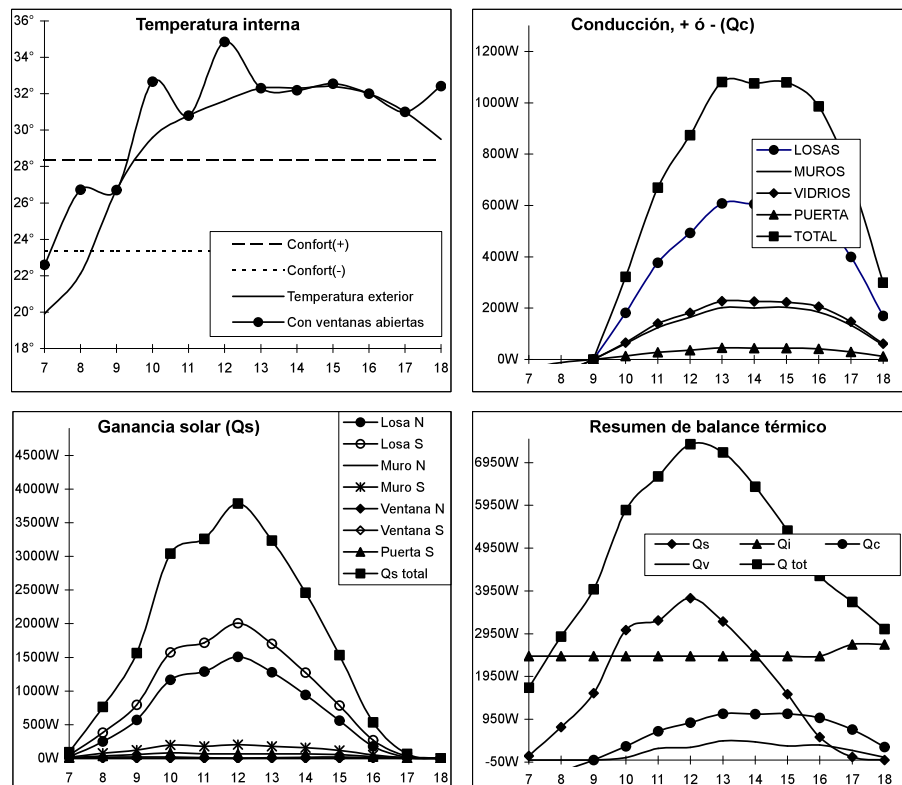
Complemento de gráficas de los meses que no fueron expuestos en el capítulo 6

Condiciones térmicas en aulas actuales CAPFCE en La Paz (Junio, arriba y Octubre, abajo)

Ciudad: La Paz, B.C.S. Mes: Junio Tipo de techo: Losa normal Rotación: 0°



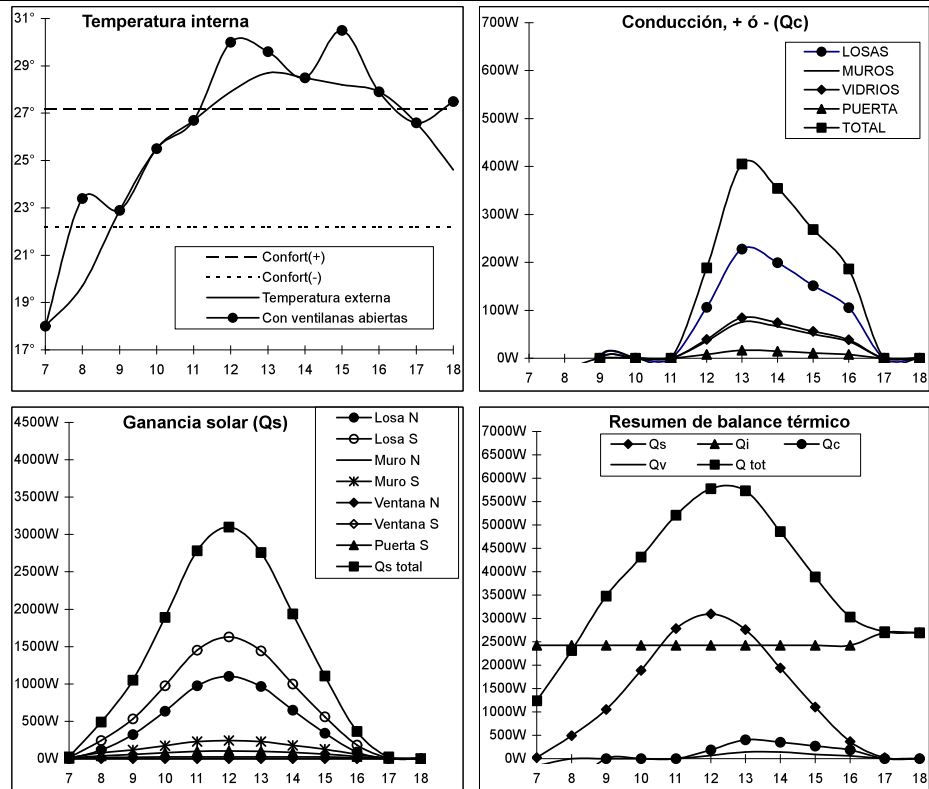
Ciudad: La Paz, B.C.S. Mes: Octubre Tipo de techo: Losa normal Rotación: 0°



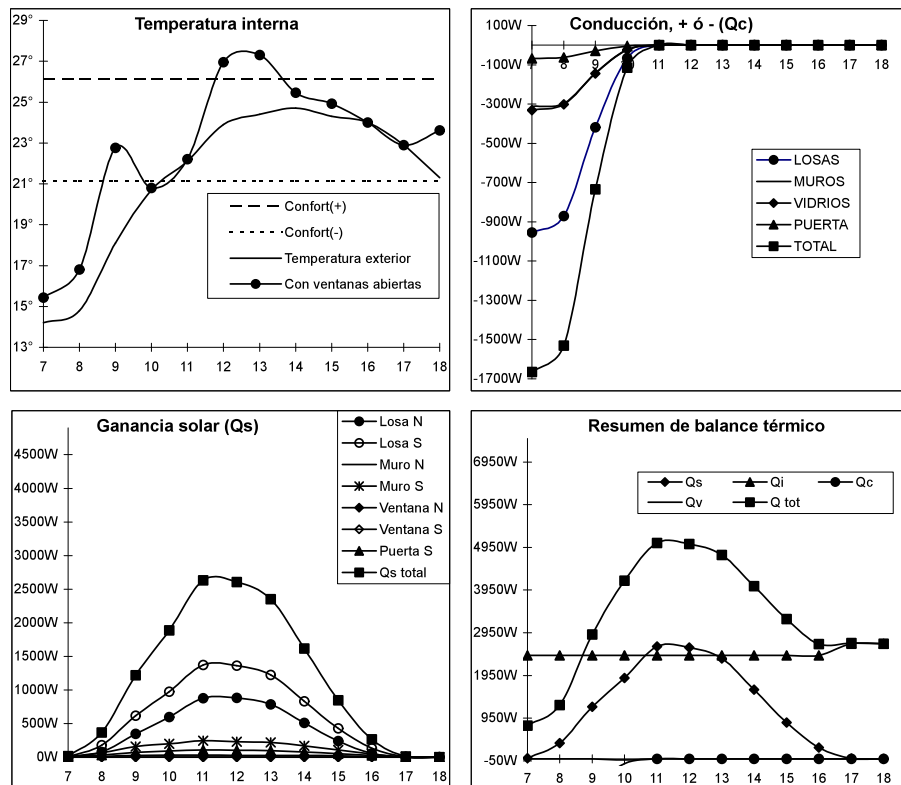
Complemento de gráficas de los meses que no fueron expuestos en el capítulo 6

Condiciones térmicas en aulas actuales La Paz (Noviembre, arriba y Diciembre, abajo)

Ciudad: La Paz, B.C.S. Mes: Noviembre Tipo de techo: Losa normal Rotación: 0°



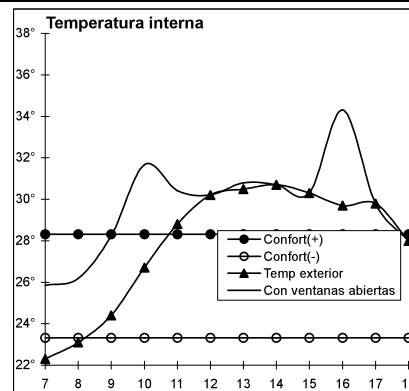
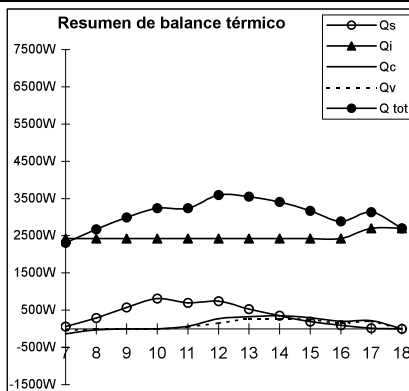
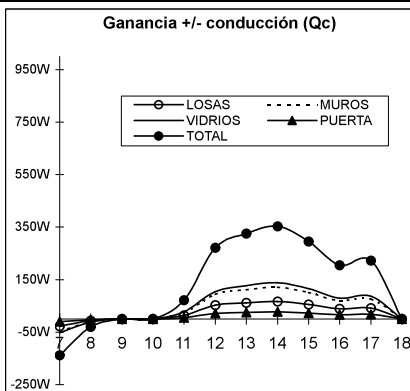
Ciudad: La Paz, B.C.S. Mes: Diciembre Tipo de techo: Losa normal Rotación: 0°



APENDICE DEL CAPITULO 8

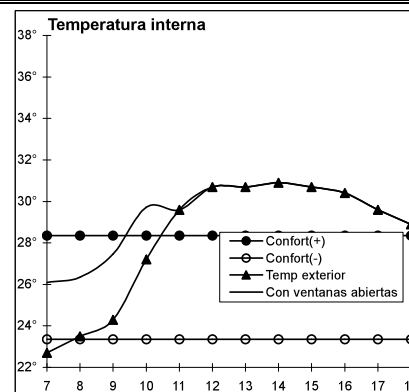
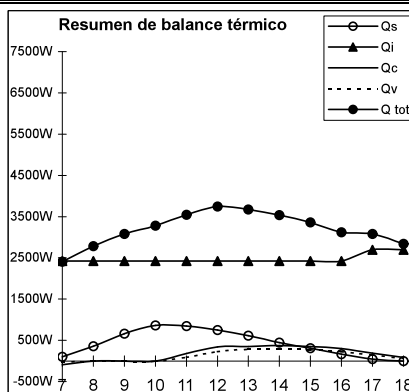
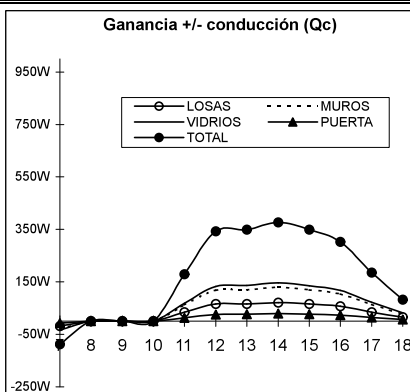
Gráficas de aulas con adecuaciones bioclimáticas en Acapulco (meses no expuestos en cap. 8)

Ciudad: Acapulco Mes: Enero Aislante en losa: poliestireno(5cms) Rotación del eje de aula: 45°



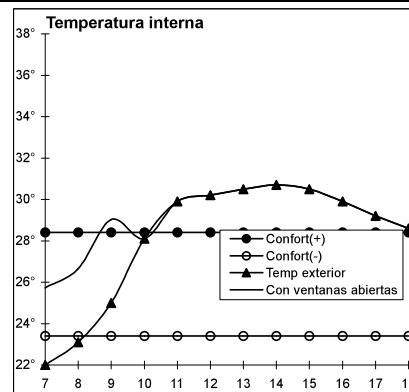
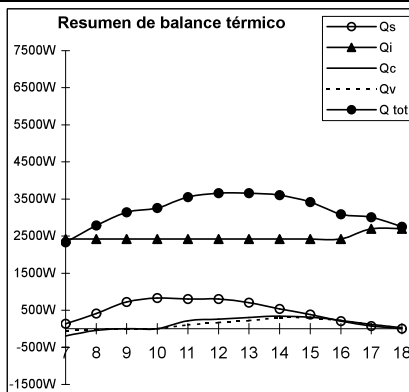
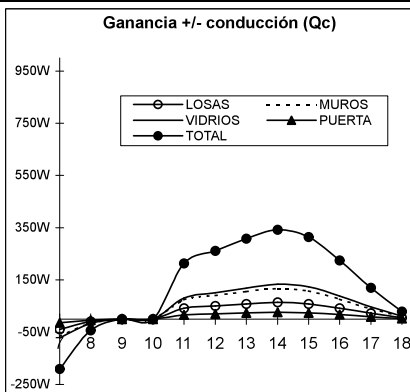
Mes de Enero

Ciudad: Acapulco Mes: Febrero Aislante en losa: poliestireno(5cms) Rotación del eje de aula: 45°



Mes de Febrero

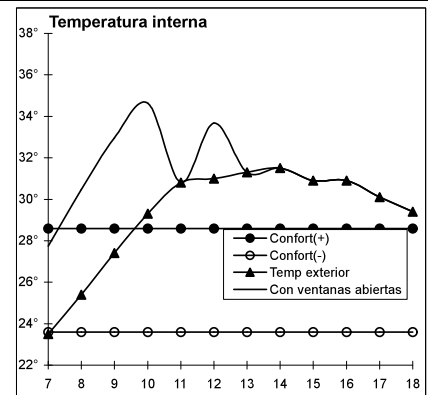
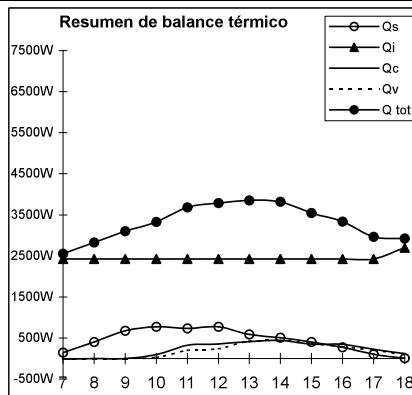
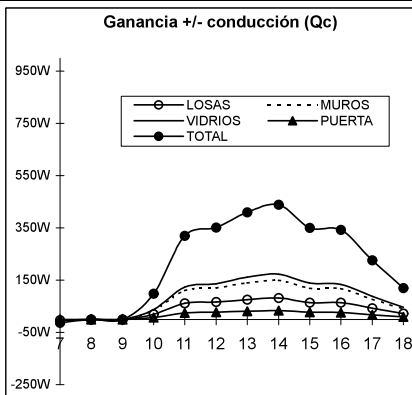
Ciudad: Acapulco Mes: Marzo Aislante en losa: poliestireno(5cms) Rotación del eje de aula: 45°



Mes de Marzo

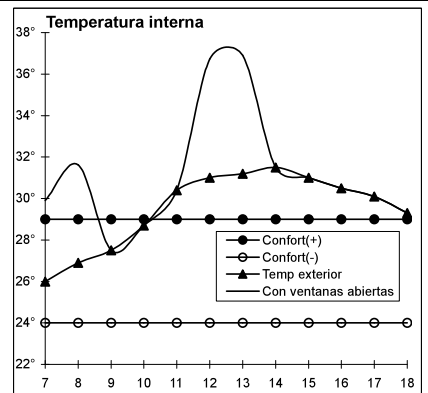
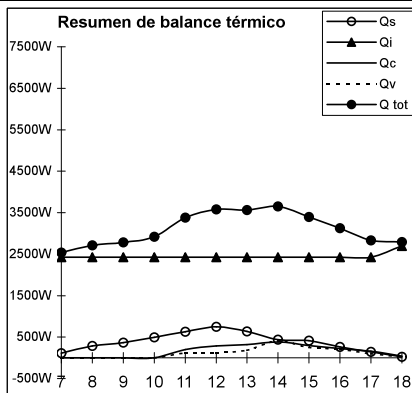
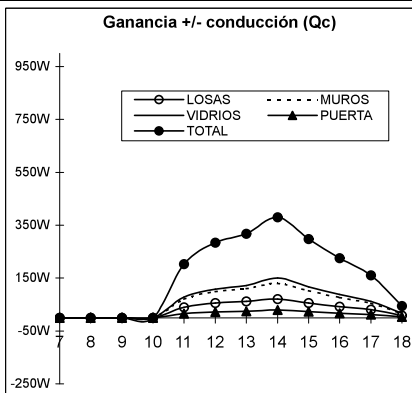
Gráficas de aulas con adecuaciones bioclimáticas en Acapulco (meses no expuestos en cap. 8)

Ciudad: Acapulco Mes: Abril Aislante en losa: poliestireno(5cms) Rotación del eje de aula: 45°



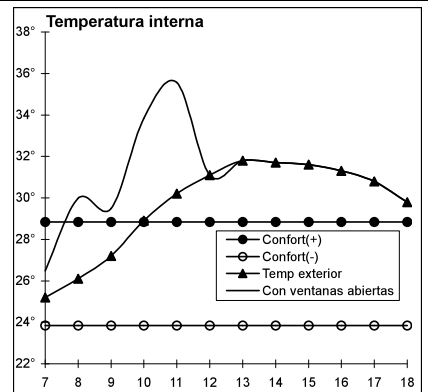
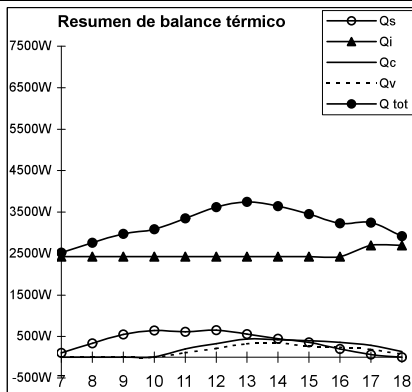
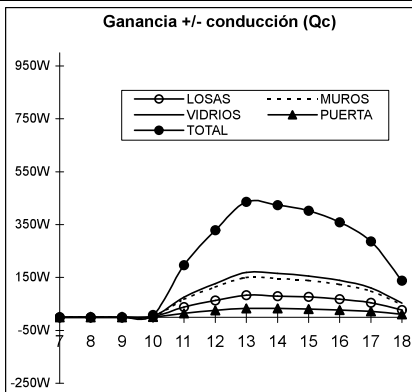
Mes de Abril

Ciudad: Acapulco Mes: Junio Aislante en losa: poliestireno(5cms) Rotación del eje de aula: 45°



Mes de Junio

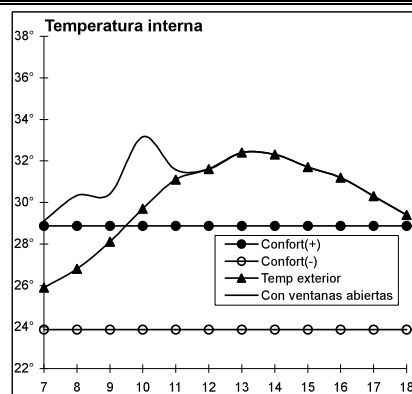
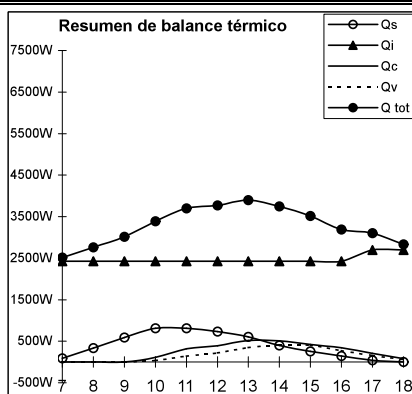
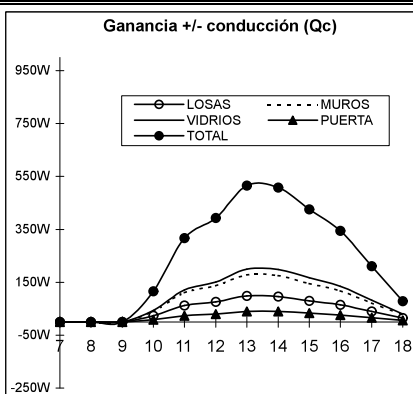
Ciudad: Acapulco Mes: Septiembre Aislante en losa: poliestireno(5cms) Rotación del eje de aula: 45°



Mes de Septiembre

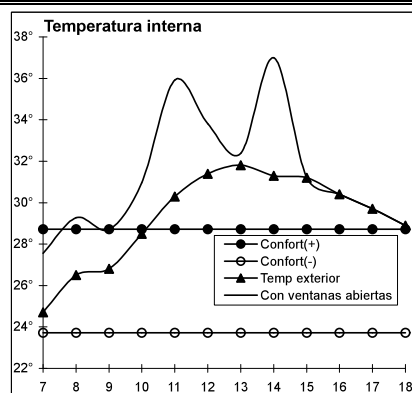
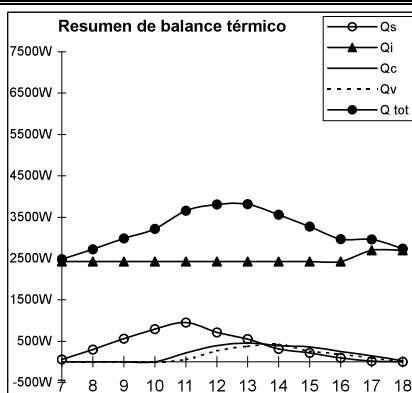
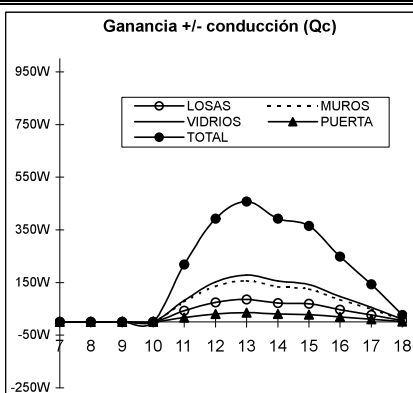
Gráficas de aulas con adecuaciones bioclimáticas en Acapulco (meses no expuestos en cap. 8)

Ciudad: Acapulco Mes: Octubre Aislante en losa: poliestireno(5cms) Rotación del eje de aula: 45°



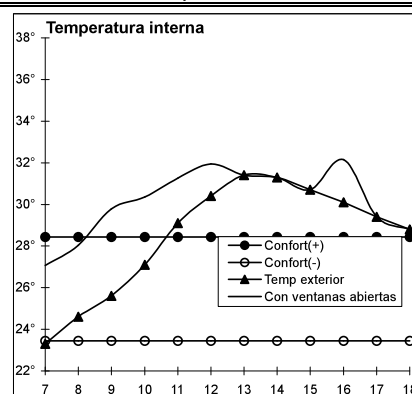
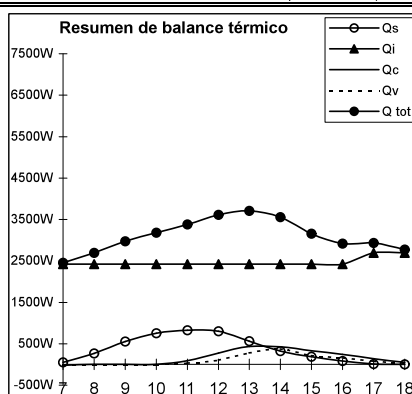
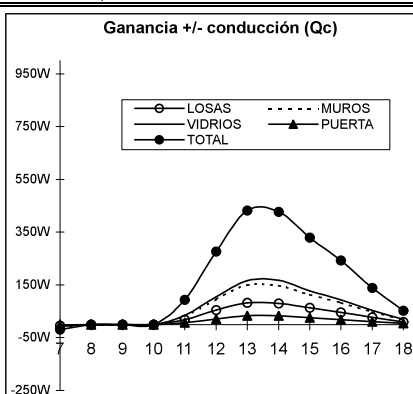
Mes de octubre

Ciudad: Acapulco Mes: Noviembre Aislante en losa: poliestireno(5cms) Rotación del eje de aula: 45°



Mes de Noviembre

Ciudad: Acapulco Mes: Diciembre Aislante en losa: poliestireno(5cms) Rotación del eje de aula: 45°

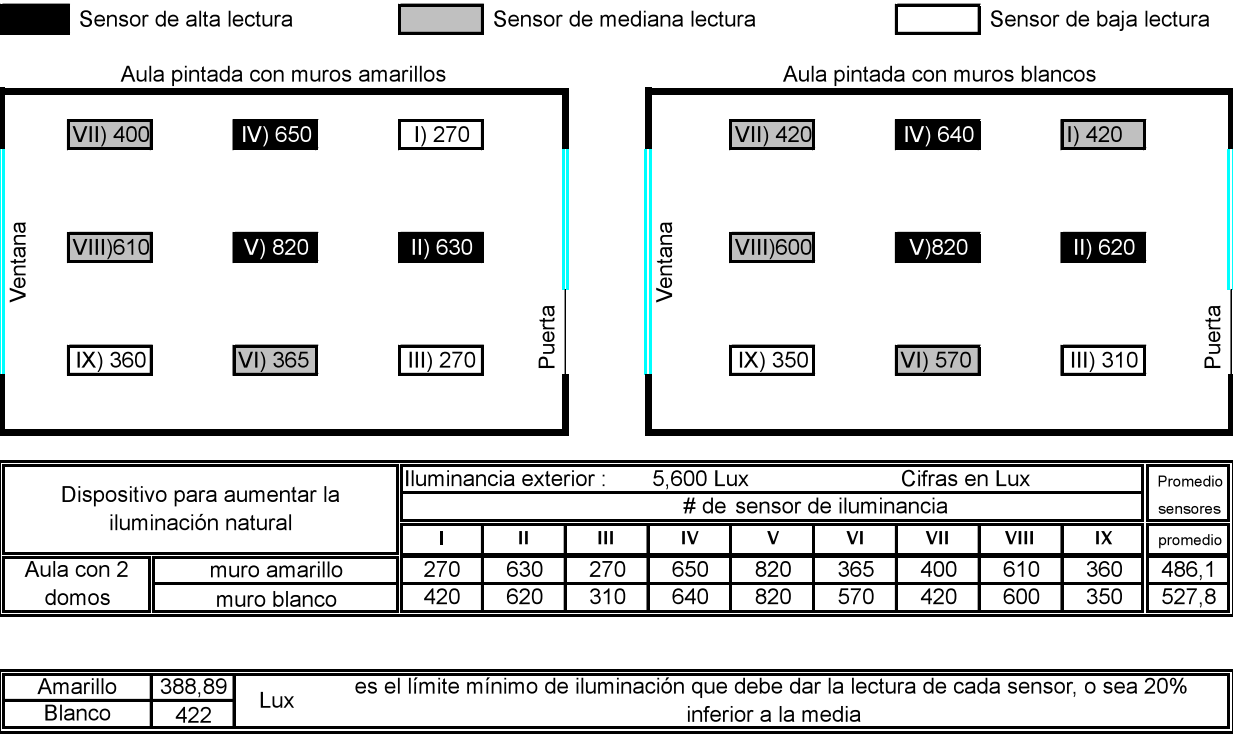


Mes de Diciembre

Impacto al diseño original en iluminación Acapulco, Pruebas en laboratorio de cielo artificial

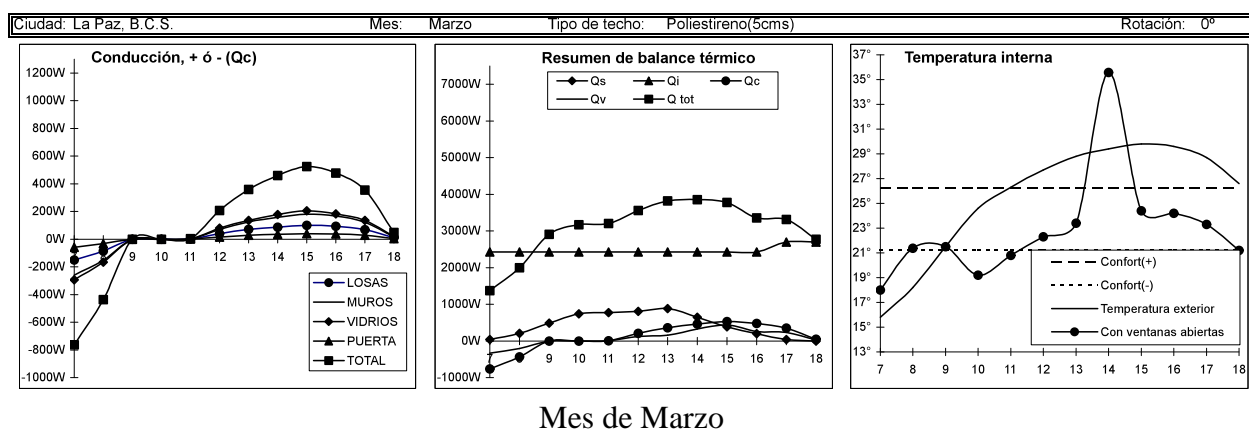
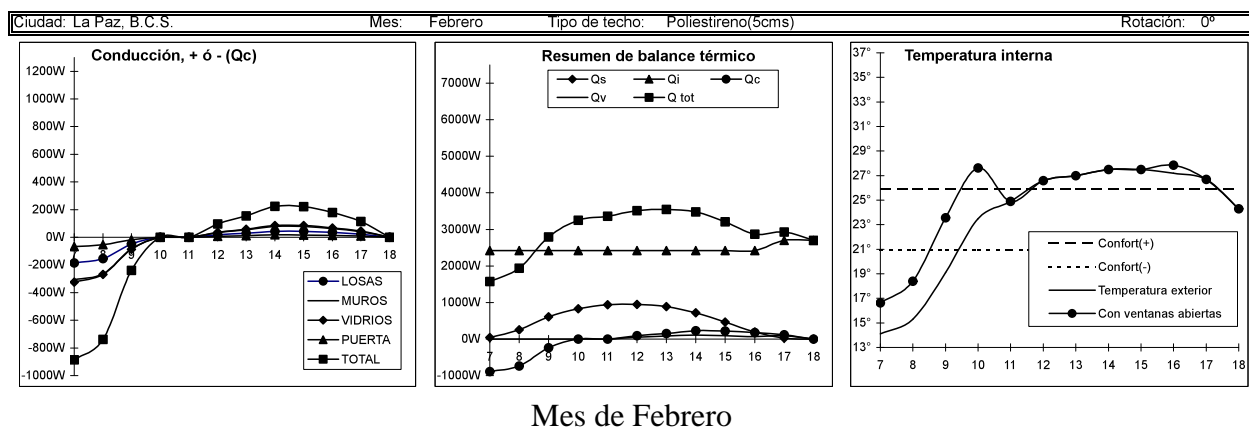
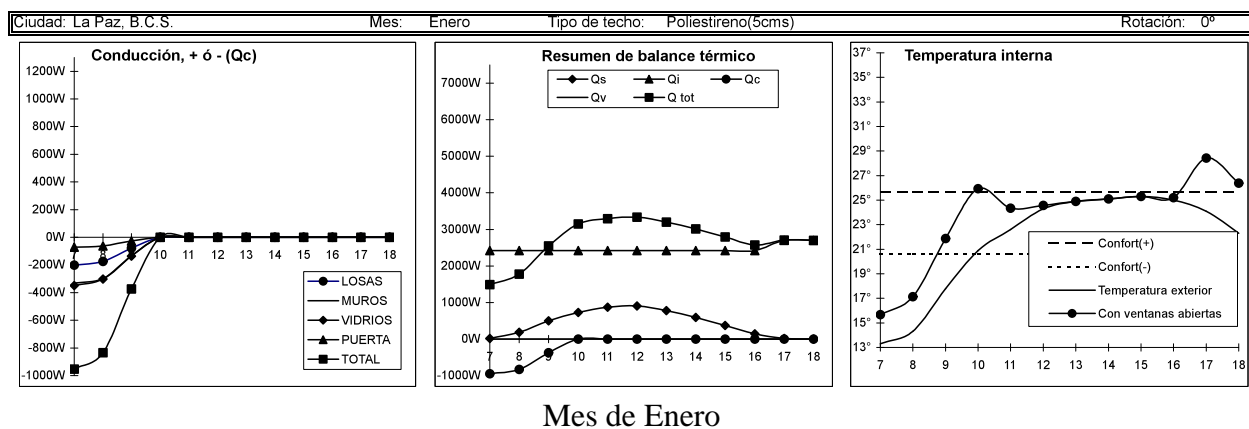
Estas propuestas de iluminación son mediante el uso de dos tragaluces de 60 x 60 cms en la cumbrera de cada aula o bien la utilización de la nueva área de ventilación como tragaluz.

El aula provista de dos domos provee niveles de iluminación medios que no se consideran satisfactorios ya que las fluctuaciones entre las lecturas de los medidores son muy grandes y en algunos casos las lecturas son inferiores en mas del 20% a la media.

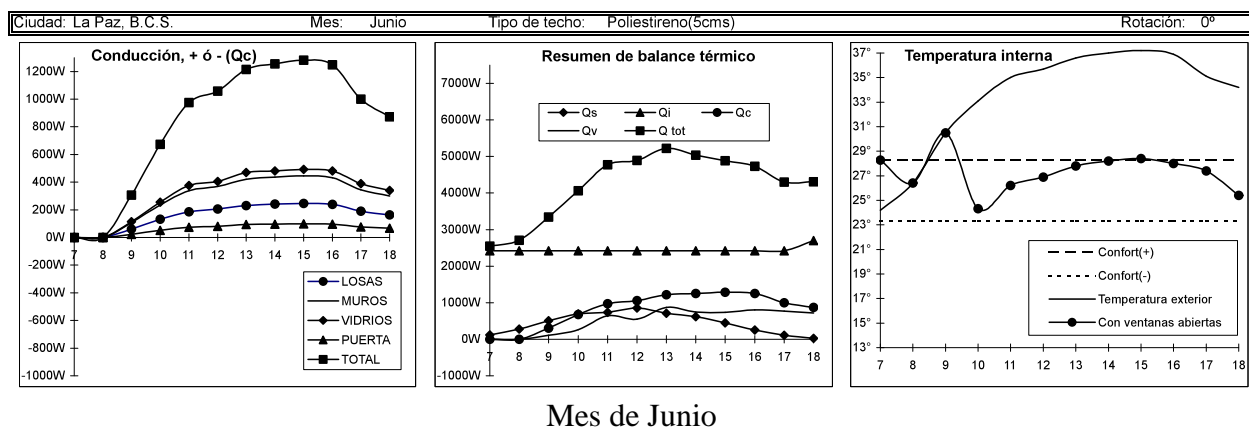
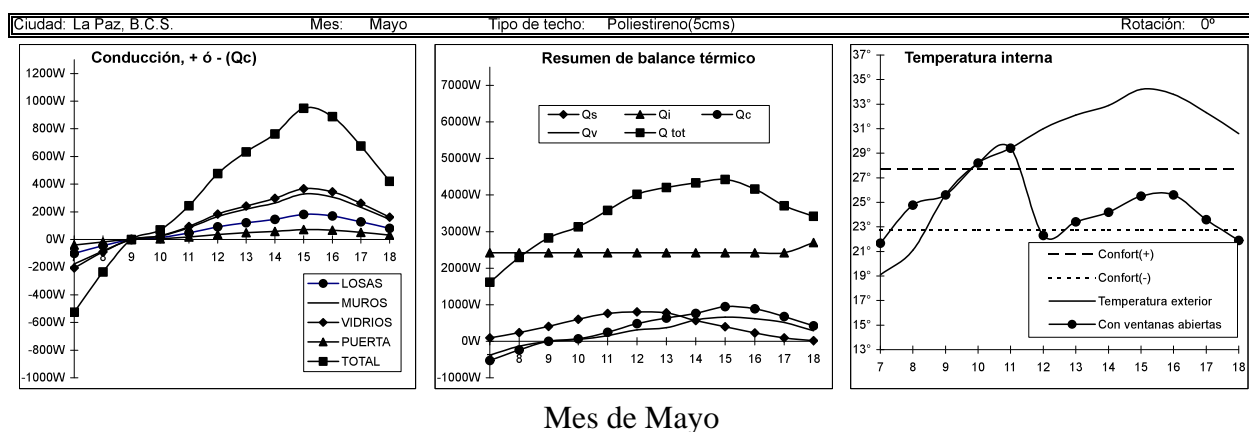
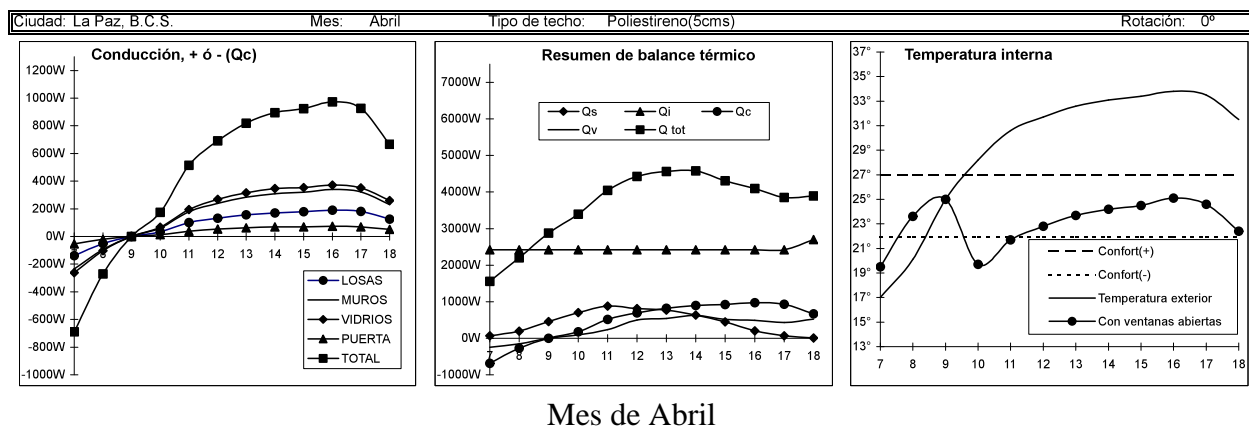


APENDICE DEL CAPITULO 9

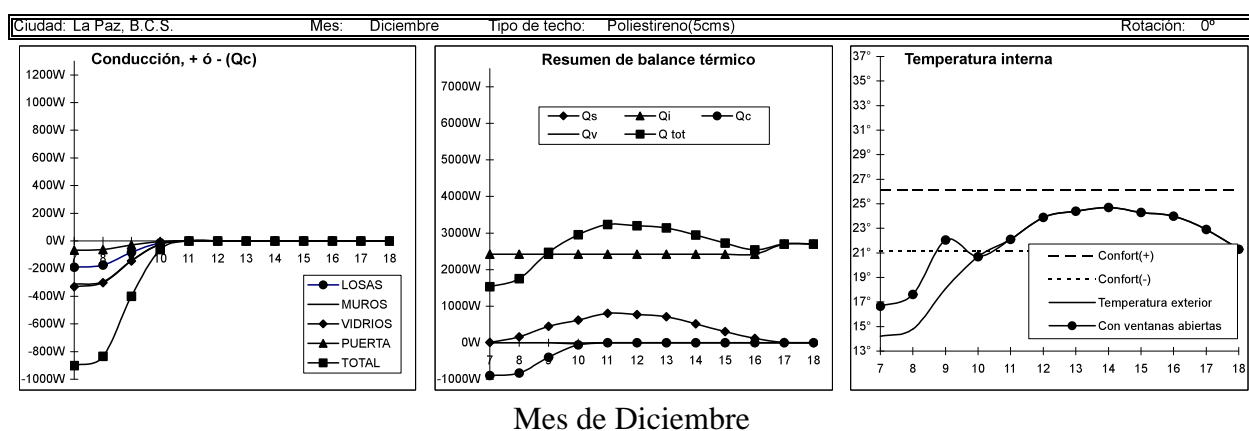
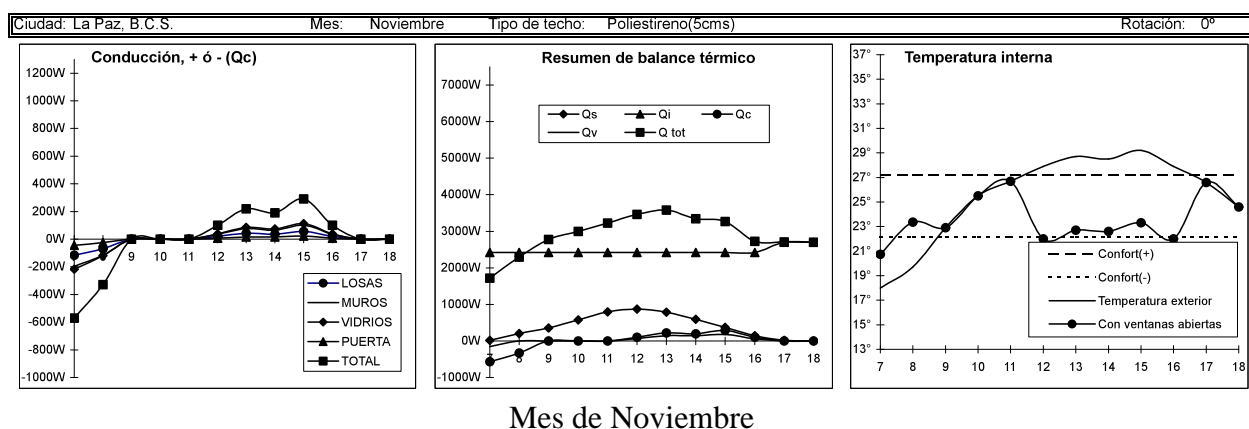
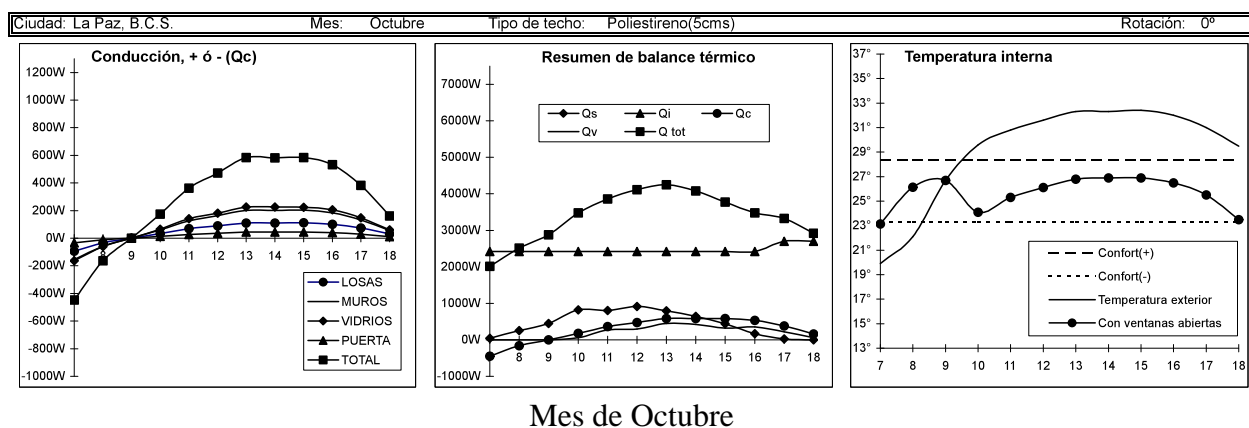
Gráficas de aulas con adecuaciones bioclimáticas en La Paz (meses no expuestos en cap. 9)



Gráficas de aulas con adecuaciones bioclimáticas en La Paz (meses no expuestos en cap. 9)



Gráficas de aulas con adecuaciones bioclimáticas en La Paz (meses no expuestos en cap. 9)



GLOSARIO

Acimut – Es la distancia angular entre el Sur verdadero y el punto en el horizonte exactamente abajo del sol.

Acristalamiento - Elemento de cerramiento de material transparente o translúcido (vidrio o plástico) utilizado para permitir el paso de la radiación, el acristalamiento dificulta las pérdidas de calor por reirradiación y convección.

Altura solar – Es el ángulo que forma el rayo solar y el horizonte medido en un plano vertical.

Angulo de incidencia – Es el ángulo formando entre el rayo incidente del Sol y una línea perpendicular a la superficie del objeto que capta el sol.

Calor – Es la forma de energía que es transferida en virtud de un diferencial térmico.

Cambio de aire – La renovación de una cantidad de aire en un volumen dentro de un determinado periodo, se expresa en número de cambios por hora, si una casa tiene un cambio de aire por hora significa que todo el aire de la casa será reemplazado en un periodo de una hora.

Coefficiente de pérdida térmica (UA) – Es la cantidad de energía transmitida a través de las paredes, techo y piso calculada en calorías o Btus por hora por grado.

Conductancia (C) – Es la cantidad de calor (kcal) que se transmitirá a través de un m² de un material a lo largo de una hora cuando hay 1°C de diferencia entre ambas superficies, los valores son indicados según el grueso específico de los diversos materiales y no por cada cm. de espesor.

Declinación – Es el ángulo entre el Norte verdadero y el Norte magnético, esta declinación varía dependiendo de las diferentes áreas geográficas.

Densidad – La masa de una sustancia que se expresa en peso sobre volumen kg/m³.

Emitancia (e) – Es la proporción de calor radiado por una superficie en comparación con la cantidad que radiaría un cuerpo negro a la misma temperatura, los valores de la emitancia varían desde 0.05 para los metales brillantes pulidos hasta 0.96 para la pintura negra.

Ganancia térmica – Es el incremento en la cantidad de calor contenido en un espacio, como resultado de la radiación solar, y el flujo del calor a través de la envolvente del edificio además de la ganancia interna.

Hora solar – Es la hora basada en la posición aparente del sol, el medio día solar es el instante en que el sol alcanza su mayor altura para ese día, es muy difícil que la hora solar con la hora civil en cualquier lugar.

Infiltración – Es el aire no controlado que se filtra hacia el interior de un edificio a través de oquedades y alrededor de puertas y ventanas causada por efecto de la presión y el viento o la diferencia entre la densidad del interior y el exterior del edificio.

Insolación – Es el total de la radiación solar incidente en una superficie expuesta medida en unidades de calor por área o en Langleys.

Masa térmica – Es un material térmicamente absorbente usado para almacenar energía, en los sistemas solares pasivos la masa absorbe el calor del sol durante el día y lo libera en la noche.

Pérdida térmica – Es el decremento en la cantidad de calor contenida en un espacio, resultado del flujo de calor a través de paredes, ventanas, techo y otros componentes del edificio.

Radiación – Es la transportación de energía a través de un espacio por medio de ondas electromagnéticas.

Radiación reflejada – Es la radiación solar reflejada por colores claros o superficies pulidas, puede ser utilizado para aumentar la radiación.

Rango de confort – Es el rango de condiciones climáticas dentro de las cuales la gente se siente cómoda.

Reflectancia – Es la proporción de la luz reflejada por una superficie en comparación a la luz que sobre ella incide.

Temperatura ambiente – Es la temperatura prevaleciente en el exterior del edificio.

Temperatura de bulbo húmedo – Es la medición más baja de temperatura a partir de agua adherida al termómetro que se evapora.

Temperatura de bulbo seco – Es la medida de la temperatura sensible del aire.

Temperatura de diseño – Es una temperatura designada cercana a los extremos de temperatura en inviernos y veranos de un área, se usa para estimar la demanda de enfriamiento o calefacción.

Ventilación natural – es el movimiento de aire sin ninguna ayuda a través de un edificio

ABREVIATURAS

ASHRAE – The American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers

C.A.P.F.C.E – Comité administrativo del programa federal de construcción de escuelas

I.N.E.G.I. - Instituto Nacional de geografía y estadística

M.N.A. - Museo nacional de Antropología

P.E.C. - Programa de escuelas de calidad

SENER – Secretaria de energía

BIBLIOGRAFIA

1. AFE « Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires» Association française de l'éclairage, Paris, Francia, 1998
2. Alavez, Rafael «Análisis termofísico de materiales vegetales e industrializados como recurso bioclimático para la costa pacífico sur de Oaxaca» tesis de maestría, U.A.M.- Azcapotzalco, ciudad de México, 2004
3. Almanza Salgado, Rafael & Muñoz Gutiérrez, Felipe «Ingeniería de la energía solar», El Colegio Nacional, ciudad de México, 1994
4. ANES, «Estrategias para el aprovechamiento de la luz natural en integración con la iluminación eléctrica en climas cálidos para el ahorro de energía y confort lumínico», memorias de San Luis Potosí, 2002
5. Auliciems, A. & Szokolay, S., «Thermal Comfort», PLEA & departamento de arquitectura de la Universidad de Queensland, Brisbane, Australia, 1997
6. Behling, Sophia & Stefan, «Solar Power», Prestel, Munich, Alemania, 2000
7. Brown, G. & DeKay, Mark «Sun, Wind & light» John Wiley & Sons, Nueva York, E.E.U.U., 2001
8. Camous, Roger & Watson, Donald «El hábitat bioclimático», G. Gili, Barcelona, España, 1986
9. CAPFCE «Criterios normativos de regionalización y acondicionamiento bioclimático para proyectos y construcciones del C.AP.F.C.E», CAPFCE, ciudad de México, 1993
10. CAPFCE, SEP, SER, OCDE, «Taller Internacional sobre Infraestructura Educativa», Gobierno de Jalisco, Guadalajara, México, 2002
11. «Thermal conditions» Cornell University Ergonomics, Ithaca, E.E.U.U., 2001
12. Cota Rangel, «Cartas antropométricas de la población que cursa la educación primaria», Instituto Sonorense de la Infraestructura Educativa, Hermosillo, México, 2000
13. De Brouwer, «Les ambiances thermiques», Institut Universitaire de Médecine du Travail de Rennes, Rennes, Francia, 2000
14. de Chiara, J. & Callender, J., «Time saver standards for building types», McGraw Hill, Nueva York, E.E.U.U., 1990
15. Deffis Caso, Armando «Arquitectura ecológica tropical» Arbol, ciudad de México, 1994
16. Denyer, Susan «African traditional architecture» Heinemann, Londres, Reino Unido, 1978

17. Dreyfus, Jacques «Le confort dans l'habitat en pays tropical: la protection des constructions contre la chaleur», Eyrolles, Paris, Francia, 1960
18. Fernández Zaya, José & Estrada Cojigal, Vicente, «Cálculo de la radiación solar instantánea de la república mexicana», U.N.A.M., ciudad de México, 1980
19. Fry, Maxwell & Drew, Jane «Tropical architecture in the dry and humid zones» Robert Krieger Publishing Company, Huntington, E.E.U.U., 1994
20. García, Enriqueta, «Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen», U.N.A.M., ciudad de México, 1973
21. García Enriqueta, Soto Consuelo y Miranda Faustino «Aspectos biometeorológicos que influyen en el bienestar del hombre y su aplicación en la república mexicana», U.N.A.M., ciudad de México, 1960
22. García Chávez, José Roberto (compilador) «Hacia una arquitectura ecológica y sustentable», Universidad Autónoma Metropolitana, ciudad. de México, 2000
23. García Chávez, José Roberto et al «Optimization of air movement patterns in typical housing projects of a hot humid climate» PLEA, Eindhoven, Países Bajos, 2004
24. García Chávez, José Roberto et al «Potential of natural ventilation for improving comfort and energy savings in a typical low cost housing project in a hot humid region», ISES, Guanajuato, Noviembre 2004
25. García, J. & Fuentes, V. «Viento y arquitectura», Trillas, ciudad de México, 1995
26. Givoni, Baruch, «Climate considerations in building and urban design», Van Nostrand Reinhold, Nueva York, E.E.U.U.
27. Givoni, Baruch, «Man, climate and architecture», Applied Science Publishers Ltd., Londres, Reino unido, 1976
28. Givoni, Baruch, «Thermal passive and low energy cooling of buildings », John Wiley & Sons, Nueva York, E.E.U.U., 1994
29. Gobierno del D.F. «Reglamento de construcciones para el Distrito Federal» Porrúa, ciudad de México, 1995
30. Figueroa, A. & V. Fuentes «Criterios de adecuación bioclimática en la arquitectura», I.M.S.S., ciudad de México, 1989

31. Islas, Salvador, «Estudio comparativo de modelos físicos y matemáticos para el análisis de la iluminación natural de espacios arquitectónicos» (dos casos de estudio), tesis de maestría, U.A.M.- Azcapotzalco, ciudad de México, 2002
32. King, Delia «Acondicionamiento bioclimático» U.A.M.- Xochimilco, México, D.F., 1995
33. Kummels, Ingrid «Schulerziehung für oder gegen indianische Ethnien? die Rarámuri und Kabórachi und die Erziehungspolitik der mexikanischen Regierung», tesis doctoral, Ludwig-Maximilians Universität, Munich, Alemania, 1988.
34. Mazria, Edward, «The passive solar energy book» Rodale Press, Emmaus, E.E.U.U., 1979
35. Morales, Silvia, «Aplicaciones bioclimáticas para promover la sustentabilidad en el consumo de agua, energía eléctrica y el control de residuos sólidos en planteles educativos», tesis de maestría, U.A.M.- Azcapotzalco, ciudad de México, 2003
36. Morin, Arthur «Études sur la ventilation», L. Hachette et C^{ie}, Paris, Francia, 1863
37. Neufert, Ernst «El arte de proyectar en arquitectura», Gustavo Gilli, Barcelona, 1982
38. Noble, John et al «Mexico», Lonely Planet Publications Pty Ltd, Victoria, Australia, 2002
39. Olgyay, A. & Olgyay, V. «Solar control and shading devices», Princeton University Press, Nueva Jersey, E.E.U.U., 1976
40. Olgyay, Victor, «Design with climate», Princeton University Press, Nueva Jersey, E.E.U.U., 1963
41. Rodríguez, Chávez et al, «Introducción a la arquitectura bioclimática», Limusa, ciudad de México, 2001
42. Scheer, Hermann «Solare Weltwirtschaft», Antje Kunstmann, Munich, Alemania, 1999
43. Schneider, Astrid, «Solararchitektur für Europa», Birkhäuser, Berlín, Alemania, 1996
44. Secretaría de Educación Pública «Programa nacional de educación 2001-2006», ciudad de México, Septiembre 2001
45. Secretaría de Energía «Balance nacional de energía 2001, Oficina del subsecretario de política energética y desarrollo tecnológico», México, 2002
46. Secretaría de Energía «Prospectiva del sector eléctrico 2002-2011», Dirección general de formulación de política energética, ciudad de México, 2002.
47. Seoáñez Calvo, Mariano et al «Tratado de climatología aplicada a la ingeniería medioambiental», Mundi-Prensa, Madrid, 2002

48. Serra, Rafael & Coch, Elena «Arquitectura y energía natural», Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, 1995
49. Stein, Richard «Architecture and energy» Anchor Press, Nueva York, E.E.U.U., 1977
50. Steven Winter Associates, «The passive solar design and construction handbook», John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, E.E.U.U.
51. Szokolay, Steve, «Arquitectura solar» Blume, Barcelona, España, 1980
52. Szokolay, Steve «Environmental science handbook», Construction Press Ltd., Lancaster, Reino Unido, 1980

REVISTAS

- 1. «Revista biomédica», volumen 8 número 1, artículo: “Relación entre la tensión arterial, el peso corporal y la estatura en un grupo de niños de Yucatán” por Arcila-Herrera H, Alcalá-Guerrero R, Montero-Cervantes L, González-Franco M.F., Centro de investigaciones regionales - Facultad de medicina Universidad Autónoma de Yucatán, México, Enero-Marzo 1997
- 2. «Semanario de la Universidad Autónoma Metropolitana», Vol X, Núm 1, 2003, México
- 3. «Construir» Enero-Febrero 2002, # 63, Año 13, artículo: «Iluminación en aulas» Buenos Aires, Argentina
- 4. «L’architecture d’aujourd’hui» Marzo-Abril 2002, artículo: “Le cas des écoles anglaises de l’après-guerre” por Ariane Wilson, Paris, Francia.
- 5. «México desconocido», Especial sobre Chihuahua, Noviembre de 2002, ciudad de México
- 6. «Schweizerische Orientteppichhändler Vereinigung» artículo: “Architektur, die Windtürme von Yazd Bad-gir” por Jacques Gans, Zurich, Suiza, 2000

DIARIOS

- 1. REFORMA, artículo «Planean transformar escuelas primarias» por Javier Garza, ciudad de México, edición del 21 de Julio de 1998
- 2. DIE ZEIT, artículo: «Teure Sonnenkraft», por Cristoph Drösser, Hamburgo, Alemania, edición del 17 de Julio de 2003

VARIOS

- Planos arquitectónicos de las aulas tipo para primaria del C.A.P.F.C.E.

CURRICULUM VITAE

José Manuel Fernández Chavira

Nacimiento en la ciudad de México, Distrito Federal el 18 de Junio de 1974

Licenciatura en Arquitectura por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, titulado en 2000

Postgrado a nivel especialidad en diseño bioclimático en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, titulado en 2002

Estudios de Inglés (533 pts. TOEFL) y Francés (745 pts. TOEIC-TFI) en la Universidad Autónoma Metropolitana. Estudios de Alemán (240 pts. Zertificat-ÖSD) en la Universidad Nacional Autónoma de México

Desempeño de laboral como arquitecto en las áreas de remodelación y restauración de casas habitación unifamiliares.

Adecuaciones bioclimáticas a diseños de casas residenciales

Diseños de casas habitación, (Estado de México y Morelos)

Diseño y construcción de casa residencial de 5 pisos y 430 m2 (Naucalpan, Estado de México)

Publicación de los avances de tesis en la XXVIII Semana Nacional de Energía Solar, A.N.E.S., ciudad de Oaxaca, Octubre de 2004